Atomic Energy Control Board
P.O. Box 1046
Ottawa, Canada
K1P 5S9

Commission de contrôle de l'énergie atomique
C.P. 1046
Ottawa, Canada
K1P 5S9

INFO-0140

EXPOSITION AU XÉNON 133 DES TRAVAILLEURS DANS LES HÔPITAUX

par

Michel Deschamps, M.Sc.
Radioprotection Inc.

Un rapport de recherche préparé pour
la Commission de contrôle de
l'énergie atomique
Ottawa, Canada

RAPPORT DE RECHERCHE

Le 26 novembre 1984

85-2813/

EXPOSITION AU XÉNON 133 DES TRAVAILLEURS DANS LES HÔPITAUX

RÉSUMÉ

Au cours des diverses étapes d'examen de la ventilation pulmonaire des patients dans les hôpitaux, du xénon 133 peut être libéré dans l'air ambiant. Des mesures des concentrations dans l'air étaient nécessaires pour permettre une évaluation de l'exposition des travailleurs dans les hôpitaux.

Deux méthodes complémentaires de mesure in situ des concentrations dans l'air ont été utilisées : un moniteur d'air commercial et des tubes sous vide pour le prélèvement du sang. Des dosimètres personnels (dosimètres à thermoluminessence) ont été exposés simultanément en présence du moniteur d'air commercial, et on a ensuite comparé les résultats.

Le présent rapport fait état des résultats des mesures des concentrations d'air effectuées lors des examens de patients. On a relevé des fuites importantes de xénon 133, toutefois les travailleurs n'ont reçu aucune dose supérieure à la dose maximale admissible. Les dosimètres personnels ne permettent pas d'évaluer avec précision la dose à la peau qui résulte d'une exposition au xénon 133; des mesures de concentration dans l'air sont nécessaires pour une telle évaluation. Des méthodes sont recommandées pour minimiser les fuites et l'exposition du personnel.

ABSTRACT

During procedures for pulmonary ventilation studies on patients in hospitals, xenon-133 may escape in ambiant air. Measurements of air concentrations were required to permit an evaluation of exposure to workers in hospitals.

Two complementary methods of in situ measurements of air concentrations were employed: a commercial air monitor and blood sampling evacuated vials. Personal dosimeters (TLD) were exposed simultaneously with the commercial air monitor, results were compared.

This report presents the results of measured air concentration during patient exams. Important leakages of xenon-133 were measured but the workers received less than the maximum permissible dose. Personal dosimeters do not permit an accurate evaluation of skin dose from xenon-133, measured air concentration is required. Procedures are given to help minimize leakage and personnel exposures.

DÉNI DE RESPONSABILITÉ

Les opinions et énoncés exprimés dans cette publication n'engagent pas la Commission de contrôle de l'énergie atomique. Ni la Commission ni l'auteur ne sont responsables des dommages qui pourraient résulter de l'utilisation des renseignements contenus dans cette publication.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
	Résumé / Abstract	
1.	Introduction	5
2.1	Description de la procédure lors de l'examen de la ventilation pulmonaire	6
2.2	Le patient	8
3.	Instrumentation	9
3.1	Etalonnage	11
4.	Caractéristiques des deux départements de médecine nucléaire visités	13
4.1	Département de l'Hôpital A	13
4.1.1	Ventilation au département A	13
4.1.2	Manipulations du Xe-133. Hôpital A	14
4.2	Département de l'Hôpital B	15
4.2.1	Ventilation au département B	15
5.	Mesures de concentration dans l'air	17
5.1	Résultats pour les patients de l'Hôpital A	17
5.1.1	Salle d'examen	17
5.1.2	Mesures dans le département	20
5.2	Résultats pour les patients de l'Hôpital B	22
5.2.1	Salles d'examen	22
5.2.2	Mesures dans le département B	24
6.	Irradiation du personnel	25
6.1	Equivalents de dose au personnel de l'Hôpital A	27
6.2	Equivalents de dose au personnel de l'Hôpital B	29
7.	Mesure de l'irradiation par dosimètres thermoluminescents	31
8.	Réduction de l'irradiation au Xe-133	35
8.1	Situations normales	35
8.2	Situations d'urgence	37
9.	Conclusion	38
	Bibliographie	39
	Tableaux	40
	Figures	46

1. Introduction

Le Xe-133 est utilisé depuis environ vingt (20) ans en médecine nucléaire pour l'étude de la fonction pulmonaire de certains patients.

Des 33 isotopes du xenon, de numéros atomiques 118 à 144, seuls les xenons 127 et 133 sont utilisés ici en médecine nucléaire. Nous nous limitons dans la présente étude au xénon-133 qui en émettant un β^- se transforme en Cs-133 avec une période de 5,27 jours.

Le xénon utilisé est sous forme de gaz, tout comme l'argon et le krypton, le xénon est dans la famille des gaz inertes.

Lors des études de ventilation pulmonaires chez les patients, une partie du Xe-133 peut s'échapper dans l'air ambiant. Des mesures de concentration dans l'air sont requises pour nous permettre d'évaluer l'irradiation du personnel dans les salles d'examen mêmes ainsi qu'aux autres membres du personnel du département si le xénon réussit à diffuser jusqu'à leurs lieux de travail. Deux départements de médecine nucléaire ont été sélectionnés, leurs systèmes de ventilation ainsi que les appareils dispensateurs se sont avérés très différents, les résultats des mesures de concentration reflètent cet état.

2.1. Description de la procédure lors de l'examen de la ventilation pulmonaire

Dans les deux départements de médecine nucléaire où nous avons effectué les mesures, la procédure lors de l'examen de la ventilation pulmonaire était la même. Une capsule de xénon gazeux était déchargée dans l'embouc du patient suite à une profonde exhalation, alors le patient inhale profondément et bloque pour environ ½ minute. L'activité totale du xénon est dans les poumons durant cette première phase. Le nez du patient est pincé avant l'introduction du xénon.

Ensuite le patient respire en circuit fermé un mélange d'air et d'environ 370 MBq (10 mCi) de xenon-133, pour environ 5 minutes, c'est la phase d'équilibre. L'activité totale de xénon se répartit entre les poumons du patient et le volume du circuit de recirculation du dispensateur ± 12 litres (1 ou 2 sacs de quelques litres et les tuyaux de connection). Durant ce temps, des scintigraphies sont prises de la région pulmonaire du patient à l'aide d'une gamma-caméra.

La phase suivante appelée lavage où le patient respire en circuit ouvert dure quelques minutes, des images scintigraphiques sont aussi prises. Le patient inhale de l'air ambiant et exhale dans une trappe au charbon activé (Hôpital A) ou un ballon atmosphérique (Hôpital B). A la fin de cette étape du lavage le patient est débranché du système dispensateur, la pince à nez est enlevée ainsi que l'embouc.

D'autres images scintigraphiques peuvent être prises pour la mesure de la rétention tardive du xénon dans les poumons.

Les durées des phases d'équilibre et de lavage peuvent varier selon l'état et la collaboration du patient.

2.2. Le patient

Quelques caractéristiques du modèle [1,2] utilisé pour la dosimétrie du patient nous permettront de mieux comprendre les résultats de nos mesures. Le xénon dans le corps suite à un examen par ventilation pulmonaire est décrit par un modèle de décroissance a cinq composantes exponentielles, les périodes biologiques variant de 22 secondes à 10 heures, ceci pour des sujets sans problème pulmonaire.

La composante la plus rapide ($T_{\frac{1}{2}}$ = 22 secondes) proviendrait des espaces d'air des poumons qui se vident dès le début de la période de lavage tandis que la composante la plus longue serait reliée aux graisses du corps.

Les périodes biologiques des autres composantes sont de 3 minutes, 24 minutes et 2,7 heures.

3. Instrumentation

Un appareil pour la mesure de la concentration du Xenon-133 dans l'air a été utilisé, il s'agit du XenoGard*. Le XenoGard mesure et intègre la concentration de xenon dans l'air. Nous pouvons lire la concentration par affichage analogique tandis que deux affichages numériques nous indiquent le temps durant lequel nous avons intégré et le résultat en MPC-heures (1 MPC (Maximum Permissible Concentration), pour les travailleurs sous rayonnement = 10^{-5} microCi ml^{-1}).

Le détecteur du XenoGard est un tube geiger à fenêtre mince, un ventilateur fait circuler l'air ambiant dans une chambre face au geiger. Détecteur et chambre sont blindés par 3/8 de pouce de plomb.

Les domaines de mesure sont de 1, 10, 100 et 1000 MPC, valeurs au maximum de l'échelle avec des temps de réponse respectifs de 40; 4; 0,4 et 0,04 secondes. Les concentrations ont été mesurées à 1,2 m du sol.

Nous avions un objectif de trois (3) séries de mesures dans la salle d'examen et la durée totale d'un examen pouvait varier de 5 à 10 minutes, donc en pratique nous n'avions pas le temps de déplacer l'appareil partout dans la pièce (encombrement relativement grand), attendre l'équilibre et noter les résultats. Cependant, cet appareil pouvait

* XenoGard, Xenon Room Air and Trap Monitor, Modèle 36-751 de Victoreen, Nuclear Associates

être utilisé pour une mesure en continu du niveau en un point central de la salle durant tout l'examen ainsi que dans les autres pièces du département suite à l'examen avec Xenon-133.

Donc face à ce système très dynamique (étapes courtes de l'examen) et du temps de réponse de l'appareil nous avons décidé d'utiliser une deuxième méthode de mesure d'échantillonnage d'air à l'aide de tubes que nous pourrons évaluer après que l'examen soit terminé.

Des tubes à vide pour prélèvement de sang ont été choisis, ils sont facilement disponibles et peu dispendieux. Des tubes de 7 cc et de 15 cc ont été utilisés, l'avantage des tubes de 7 cc est qu'ils peuvent être comptés dans les compteurs automatiques des départements de médecine nucléaire (s'il reste du temps disponible). Ces tubes nous permettent de prélever un échantillon d'air aussi près que nous le voulons de l'embouc du patient, de la sortie des trappes du xenon ou de tout endroit dans la salle d'examen et cette méthode est rapide car il suffit de percer le caoutchouc avec une aiguille pour laisser l'air entrer, en moins d'une seconde la pression interne égale la pression externe et nous enlevons l'aiguille, le caoutchouc scelle la petite ouverture de l'aiguille.

Les tubes à prélèvement de sang utilisés sont de la compagnie Sherwood : Monoject, Evacuated Blood Collection Tubes, Red Stopper, sans additif.

3.1. Etalonnage

Dans le but de vérifier l'étalonnage du XenoGard et d'étalonner les tubes, nous avons libéré du xenon-133 dans une pièce fermée. L'erreur relative (à 130 MPC) de la réponse du XenoGard en fonction de l'activité fournie par la compagnie vendant le Xe-133 étant de moins de 7%, nous prenons la réponse du XenoGard comme vraie.

En faisant changer l'air dans la pièce et en la scellant de nouveau nous avons obtenu plusieurs concentrations où nous avons pris des échantillons d'air avec les tubes, lectures avec le XenoGard. Les concentrations ont été variées de 130 MPC à 0,1 MPC.

Les courbes d'étalonnage pour les tubes de 7 et 15 cc sont montrées en figures 1 et 2. Le compteur de Radioprotection Inc. a été utilisé, il s'agit d'un monocanal LUDLUM, modèle 2200 et d'un cristal à puits modèle 243 de la même compagnie, le détecteur a 2 pouces par 1 3/4 pouce en NaI(Tl), les dimensions du puits sont de 5/8 par 1 1/2 pouce.

Les droites ont été trouvées par régression linéaire méthode des moindres carrés, forçant le passage par 0. Les coefficients de corélation sont de 0,999156 pour les tubes de 7 cc et de 0,998233 pour les tubes de 15 cc. Quatre (4) tubes de chacun des volumes ont été pris à chacune des concentrations, les résultats des comptages individuels sont montrés en figures 1 et 2. Nous pouvons en conclure que le vide des tubes est constant pour notre type de mesures.

La concentration minimale que nous pouvons mesurer par la méthode des tubes est de 1 MPC pour des temps de comptage raisonnables.

Nous avons aussi voulu vérifier si nous ne perdions pas une quantité importante de xénon par le bouchon de caoutchouc des tubes à prélèvements (3). Un tube présentant une concentration élevée a été compté pour une période de 2 $T_{\frac{1}{2}}$. La figure 3 nous montre la courbe théorique de décroissance ainsi que les points expérimentaux. La constante de désintégration théorique est de $5,48 \times 10^{-3} h^{-1}$, les points expérimentaux nous conduisent à une valeur de λ de $5,708 \times 10^{-3} \pm 3,3 \times 10^{-5} h^{-1}$. La différence après 2 X $T_{\frac{1}{2}}$ est de moins de 6% relativement à la courbe théorique, donc nous pouvons utiliser ces tubes car les pertes sont minimes au travers du bouchon de caoutchouc.

4. Caractéristiques des deux départements de médecine nucléaire visités

4.1. Département de l'Hôpital A

Le département de médecine nucléaire de l'Hôpital A occupe tout un étage d'une aile de cet hôpital pour une superficie d'environ 490 m^2. Un plan du département est montré en figure 4, on y trouve une description de l'utilisation des lieux. Environ dix (10) examens de ventilation pulmonaire avec le xénon-133 sont effectués par semaine, principalement dans la salle des postes 4 et 5 et de préférence en fin d'après-midi. Cette salle est montrée en figure 5.

4.1.1. Ventilation au département A

Les hottes du laboratoire chaud avec un débit total de 1670 pi^3/minute* ainsi qu'un conduit de 2 pouces au poste 5 qui aurait un débit de 4 pi^3/minute, ce conduit n'est pas utilisé, sont les seules sorties d'air du département. Un système de climatisation boucle fermée existe dans la moitié du département située dans la section des postes 6 et 7.

Il n'y a aucun système important de ventilation dans ce département, les fenêtres doivent être fermées pour la bonne marche de l'électronique et de l'informatique.

* Anémomètre Modèle 3000 de Airflow Developments Ltd, Mississauga

4.1.2. Manipulations du Xe-133

Le xénon-133 est reçu dans des ampoules de verre fermées par un bouchon de caoutchouc (FROSST), chaque ampoule est mono-dose et étalonnée à 10 milliCi pour le mercredi à 13h00. Donc si les doses ne sont pas gardées pour la semaine suivante, les activités pour les patients peuvent varier de 7,5 milliCi à 13,3 milliCi.

Le département A possède un appareil PULMONEX* pour dispenser le Xe-133 au patient. Ce système est blindé par 1/16 de pouce de plomb (incluant deux fenêtres au plomb pour visionner les sacs pour l'inspiration et l'expiration). Ce système comporte un filtre au charbon activé qui trappe le xénon du patient ainsi que celui contenu dans les tuyaux et sacs requis du système. La trappe au charbon activé est blindée par 1/8 de pouce de plomb.

Un schéma du PULMONEX est montré en figure 6. Le manufacturier recommande de changer le filtre au charbon activé à chaque année.

* Pulmonex Xenon System
Atomic Products Corporation

4.2 Département de l'Hôpital B

Le département de médecine nucléaire de l'Hôpital B occupe aussi tout un étage d'une aile de l'hôpital pour une superficie d'environ 1100 m^2. Une description de l'utilisation des lieux est indiquée à la figure 7. La charge de travail est d'environ dix (10) examens avec xenon-133 par semaine. Les examens sont effectués à toute heure et nous avons effectué des mesures dans trois (3) salles différentes. Ces salles sont montrées en figures 8, 9 et 10.

4.2.1 Ventilation au département B

Un système de ventilation indépendant et sans recirculation dessert toute cette aile de médecine nucléaire. Un taux de 5,5 changements d'air par heure est atteint, cependant que les débits pour chacune des pièces sont très variables comme nous pouvons le constater aux figures 7, 8 et 9.

Les 2 hottes du laboratoire chaud (m2-42) ont un débit total de 620 $\frac{pi^3}{min.}$

4.2.2 Manipulation du Xe-133, Hôpital B

Le xénon-133 est aussi acquis de la compagnie Frosst, les caractéristiques sont les mêmes qu'au département A décrites en 4.1.2.

Le département B possède un système "maison" pour dispenser le xénon-133. Le système est blindé, côté patient seulement par $\frac{1}{16}$ de pouce de plomb dans la partie supérieure, le sac de météorologie servant à récupérer le xénon est lui blindé de 0,5 mm. Ce système possède seulement un sac pour surveiller la respiration du patient.

Le schéma représentant cet appareil dispensateur de gaz xénon est montré en figure 11. A la fin de l'examen, le sac de météorologie est déposé dans une hotte pour qu'il se vide. Le sac pour la surveillance de la respiration n'est pas vidé durant la phase du lavage de l'examen.

5. Mesures de concentration dans l'air

Lors des examens de ventilation pulmonaire, les concentrations de xénon-133 dans l'air ont été mesurées dans la salle d'examen à l'aide des tubes à prélèvement de sang sous vide. L'appareil XenoGard mesurait en continu mais à environ 1,5 mètre du patient, ces mesures ont été conservées grâce à un enregistreur sur papier fonctionnant à une vitesse de déroulement de un (1) pouce par 5 minutes. Ce même appareil XenoGard a été utilisé pour les mesures dans les limites du département au complet.

L'objectif pour chaque examen était de 27 échantillons avec tubes dans la salle d'examen, incluant une mesure du niveau d'ambiance dans la pièce avant le début de l'examen. Pour quelques patients, nous n'avons pu prélever les 27 échantillons car certaines étapes de l'examen ont dû être écourtées par le technicien, ou tout simplement le patient enlevait l'embouc, sa difficulté à respirer devenant trop grande.

5.1 Résultats pour les patients de l'Hôpital A

5.1.1 Salle d'examen

Le tableau 1 nous indique les différents endroits de prélèvement d'échantillons d'air chez les patients de l'Hôpital A ainsi que les concentrations mesurées.

Les études chez les patients 1, 2, 4 et 5 ont été effectuées au poste 4, tandis que le patient 3 a subi son examen au poste 5. Les endroits d'échantillonnage sont indiquées en figures 12 et 13. Les postes 4 et 5

sont deux systèmes indépendants avec gamma-cameras et traitement de l'information dans une seule et même pièce du département.

Les activités de xénon-133 utilisées étaient les suivantes: 7,7 ; 7,7 ; 13 ; 13 et 10 millicuries pour les patients 1 à 5 respectivement.

Nous notons du tableau 1, que les concentrations mesurées, durant les phases d'équilibre et de lavage ainsi que la première expiration (mesure 20) suivant l'enlèvement de l'embouc, varient souvent de plus d'un ordre de grandeur. Les variations ne sont donc pas seulement dues aux activités de xénon-133 utilisées (variation maximale d'un facteur 2) mais bien en fonction du patient même et de ses problèmes à garder un bon contact bouche-embouc et de garder l'embouc jusqu'à la fin de l'examen.

Une moyenne mathématique des mesures prises deux (2) minutes après la fin de l'examen chez le patient (mesures 21 à 27) nous donne une concentration moyenne et leur variance (σ_{n-1}) de 7,5 $\pm$ 1,7 ; 2,4 $\pm$ 1,0 ; 9,1 $\pm$ 2,3 ; 8,5 $\pm$ 2,5 et 1,3 $\pm$ 0,4 MPC. Durant l'examen, la porte généralement était fermée pour les deux premiers cas seulement. (Sauf pour les allées et venues du personnel).

Si cette valeur correspondait bien à une concentration moyenne dans la pièce, nous obtiendrions des pertes de 100, 31, 70, 65 et 13% respectivement du xénon-133 originalement contenu dans l'ampoule.

La trappe à xénon faite d'un filtre au charbon activé peut être tenue responsable jusqu'à un certain point de pertes excessives (mesures 15). Le système PULMONEX est opérant depuis cinq (5) ans et la trappe au charbon activé n'a jamais été changée. Le manufacturier recommande de la changer à chaque année. Cependant les cas 2 et 5 nous montrent que la trappe a une certaine efficacité car les fuites provenant de toutes les causes semblent se limiter ici à 31 et 13%.

Le problème majeur semble donc provenir du fait que le patient a plus ou moins de difficulté à maintenir un bon contact autour de l'embouc avec sa bouche. L'embouc utilisé ici ne comporte pas de courroie pour le forcer à rester dans la bouche. Il n'est cependant pas utilisé selon les instructions du manufacturier qui recommande que le collet soit placé entre les dents et les lèvres, ce qui assure un bon scellé. Ici le collet de l'embouc est placé du côté intérieur des dents, ce qui n'assure pas un scellé acceptable comme le démontrent nos mesures.

Le prélèvement (no 20) où un échantillon d'air est pris de la première exhalation suite au débranchement du système montre bien qu'après un lavage de plusieurs minutes, il reste tout de même chez certains patients une activité non négligeable de xénon. Cet examen semble difficile pour les patients qui présentent tous des problèmes respiratoires, donc on remarque chez certain une première exhalation "libre" qui est d'une ampleur exceptionnelle et qui semble vouloir indiquer "Ouf! Enfin je puis respirer librement". Lorsque branchés, ils avaient peut-être

une respiration superficielle. Lors de cette première exhalation, ils semblent vider les espaces d'air les plus profonds de leurs poumons.

Pour certains de ces malades aussi, les scintigraphies peuvent indiquer, même à la fin de la période de lavage, qu'une région plus ou moins importante des poumons ne ventille pas bien. Cette région garde donc le xénon pour une période plus longue que les régions autres des poumons et continue à se vider hors du système.

La figure 14 nous montre des enregistrements, utilisant le XenoGard, en unités de concentration maximale admissible (MPC) en fonction du temps. Nous pouvons y voir le résultat d'un examen avec xénon-133 dans la pièce suivie de 3 ventilations pulmonaires utilisant le Xe-133. De courbes semblables à celles-ci, nous avons calculé que le taux de diminution de xénon-133 dans la salle des postes 4 et 5 était de 0,6 à 1,9% par minute.

5.1.2 Mesures dans le département

L'appareil XenoGard muni d'un enregistreur sur papier a été utilisé pour les mesures dans le département. Ces mesures étant prises lorsque l'examen avec patient est terminé, nous avons le temps et la place voulue pour déplacer le XenoGard sur un chariot. Les concentrations

rencontrées étant aussi plus faibles, la méthode des tubes à prélèvement ne convient plus ici.

Nous assistons dans cet Hôpital A à une diffusion du xénon dans tout le département vu le manque total de ventilation forcée.

S'il n'y avait réellement aucun changement d'air, nous obtiendrions à l'équilibre une concentration 1/10,7 fois la concentration initiale dans la pièce des postes 4 et 5. (rapport du volume de la pièce sur celui du département). En réalité, il y a changement d'air par les hottes, les portes du département ainsi que par les nombreuses fenêtres.

Les figures 15, 16 et 17 nous indiquent les résultats dans le département des mesures de concentration dans l'air pour les cinq (5) cas de ventilation pulmonaire cités précédemment pour ce même département. Après 2 à 3 heures du début de l'examen nous trouvons toujours du xénon-133 par tout le département. Plus les pièces sont éloignées de la salle d'examen, moins les concentrations sont élevées.

Les mesures de concentration dans l'air, avec le XenoCard ou les tubes à vide, sont effectuées à 1,2 m du sol.

5.2 Résultats pour les patients à l'Hôpital B

5.2.1. Salles d'examens

Le tableau 2 nous renseigne sur les différents points de prélèvement d'échantillons d'air chez les patients de l'Hôpital B ainsi que sur les résultats de ces mesures.

Les examens des patients 1 et 3 ont été effectués dans la salle 40, ceux des patients 2 et 4 dans la salle 16 tandis que le cinquième cas le fut dans la salle 46. Les endroits d'échantillonnage sont montrés en figures 18, 19 et 20.

La porte de la salle 16 reste fermée durant l'examen tandis que les portes des autres salles restent ouvertes.

Les ampoules de xénon-133 contenaient les activités suivantes: 8,8 ; 11,4 ; 11,4 ; 13 et 3 millicuries pour les patients 1 à 5 respectivement.

Le cinquième patient était un bébé de quelques mois qui a été couché directement sur la caméra qui a été placée pour l'occasion à l'horizontale.

Pour tous les patients, sauf le quatrième, les mesures de concentration du xénon dans l'air varient peu durant les différentes phases de la ventilation pulmonaire.

Si nous comparons la moyenne des concentrations mesurées durant la partie lavage des examens, échantillons 11 à 19, soit de 9,4 $\pm$ 6,5 (σ_{n-1}) MPC à la moyenne pour l'Hôpital A pour la même phase de l'examen, 7,9 $\pm$ 11,7 (σ_{n-1}) MPC, nous voyons qu'il y a autant de fuites aux deux hôpitaux. (Pour l'Hôpital A, l'échantillon 15 n'a pas été inclus car à la sortie du filtre au charbon).

Nous notons ici aussi des variations importantes d'un patient à l'autre ainsi qu'une grande difficulté à maintenir bon contact embouc-bouche du patient.

Nous voyons aussi en figures 18, 19 et 20 les entrées et sorties d'air de chacune des pièces. Nous ne pouvons supposer ici qu'un équilibre puisse s'établir dans la pièce durant cet examen de quelques minutes.

De l'échantillon no 20, nous pouvons voir que seul le patient 4 a retenu sa respiration durant l'examen, les autres patients ne semblent pas avoir eu de problème à contrer la faible résistance du système de dispensation du xénon.

Des enregistrements sur papier de la réponse du XenoGard nous pouvons calculer que le taux de diminution de xénon dans les salles de ce département est de 10 à 16% par minute.

5.2.2 Mesures dans le département B

Tel qu'expliqué en 5.1.2, le XenoGard a été utilisé.

Suite à l'examen du patient 5, les mesures ont indiqué qu'il n'y avait pas de xénon-133 (< 0,05 MPC) hors de la pièce M2-46.

Les résultats des mesures pour les autres patients, figures 21, 22 et 23 nous montrent de très faibles concentrations pour des périodes maximales de quelques dizaines de minutes seulement.

Cependant un enregistrement dans la pièce 40 montrant un deuxième pic environ 10 minutes suite à la fin de l'examen nous a permis de constater que le ballon servant à surveiller la respiration des patients ne se vidait pas dans le ballon de météo mais bien dans la pièce. Ce système pour dispenser le xénon-133 lors des examens de ventilation ne permet pas au ballon de surveillance de se vider dans le ballon météo lors de la phase de lavage, donc le technicien ouvre la valve pour le vider, cependant le ballon de météo est enlevé tout de suite après l'examen pour minimiser l'irradiation externe et les chances de pertes de xénon dans la salle.

6. Irradiation du personnel

En plus du technicien qui se trouve avec le patient dans la salle d'examen, plusieurs autres membres du personnel pourraient être exposés à des concentrations plus ou moins importantes de Xenon-133 dans les départements de médecine nucléaire. La ventilation et la situation géographique relativement à la salle d'examen influencent le plus les irradiations du personnel.

Une étude récente [4] nous indique que l'irradiation limitante est à la peau pour une immersion dans un nuage de gaz Xenon-133 de petite dimension (rayon 2-3 mètres). Cette même étude nous indique, pour le rayonnement β, une irradiation de 0,312 mrem/heure/MPC à une profondeur de 70 microns (8 mg/cm^2) d'équivalent de dose en surface, pour les rayons X et γ de 30 KeV et 80 KeV montrent des valeurs de 0,00540 mrem/MPC-heure (30 KeV) et 0,00242 mrem/MPC-heure (80 KeV) pour un nuage de 2 mètres tandis que les valeurs correspondantes à 3 mètres sont de 0,00803 et 0,00363 mrem/MPC-heure respectivement.

Le débit d'équivalent de dose pour les rayonnements X et γ à la surface de la peau, plus le débit d'équivalent de dose à 70 microns pour les β donnent un total de 0,320 et 0,324 mrem/MPC-heure respectivement pour des nuages de 2 et 3 mètres de rayon.

Vu les dimensions des salles d'examens, nous pouvons prendre un nuage effectif de 2 à 3 mètres de rayon pour le xénon-133. Tel que décrit dans le paragraphe précédent, l'équivalent de dose est pratiquement le même pour ces deux rayons effectifs. Pour le rayonnement β du xénon, ces nuages sont équivalents à des nuages infinis. Les équivalents de dose au personnel seront donc basés sur une dose à la peau de 0,32 mrem/MPC-heure.

La Commission Internationale de Protection Radiologique (ICRP 30) (5) recommande une DAC (limite dérivée de concentration dans l'air) de 2×10^7 Bq m^{-3} pour des pièces de 1000; 500 et 100 m^3 (6;5 et 3 m de rayon, en supposant une sphère de même volume). De cette valeur nous tirons un équivalent de dose à la peau de 0,46 mrem/MPC h en moyenne pour ces trois volumes de pièces, ce qui est compatible avec les valeurs que nous utilisons. Cette valeur de DAC de 2×10^7 Bq m^{-3} est pour les travailleurs sous rayonnement.

Le personnel des départements de médecine nucléaire mais qui ne sont pas les techniciens dans les salles où sont effectuées les ventilations pulmonaires sont aussi exposés à des nuages effectifs de 2 à 3 mètres de rayon pour un équivalent de dose à la peau de 0,32 mrem/MPC-heure.

6.1 Equivalents de dose au personnel de l'Hôpital A

Salle d'examen : postes 4 et 5.

La grande majorité des études de ventilation pulmonaire avec Xe-133 sont effectuées dans cette pièce.

Il y a ici deux techniciens d'exposés, un pour chaque poste.

L'appareil XenoGard a été utilisé dans cette salle, pour l'intégration sur une période de deux semaines, une valeur moyenne de 3,3 MPC-heure a été obtenue par examen pulmonaire (moyenne sur 13 examens dans la salle des postes 4 et 5.

Pour les autres secteurs du département, les valeurs intégrées en unités MPC-heure sont tirées des figures 15,16 et 17. Le département a été divisé en 4 régions pour les besoins de l'intégration.

Il est à noter ici que 3 ventilations pulmonaires avec Xe-133 avaient été effectuées lors des mesures des patients no 1 et no 2, l'irradiation totale est donc divisée en 3. De même les patients no 3 et no 4 avaient été faits successivement, les valeurs représentées sont donc une valeur totale divisée en deux parties égales.

Les irradiations en MPC-heure et en mrem à la peau sont montrées au tableau 3. Nous avons aussi montré les valeurs moyennes des expositions par patient en MPC-heure.

Quoique ces divisions du département soient purement arbitraires, il demeure tout de même que les travailleurs de la réception et autres locaux avoisinants n'utilisant pas le Xenon-133 sont exposés globalement à autant de Xenon que les techniciens effectuant les ventilations pulmonaires. Le groupe du personnel entre ces deux groupes extrêmes, est lui exposé à près du double, en MPC-heures-personnes, que les deux techniciens impliqués.

En supposant dix (10) examens par semaine avec le Xe-133, les irradiations à tout membre du département restent tout de même de beaucoup inférieures aux normes, Les techniciens des postes 4 et 5 recevraient 5 mrem à la peau par semaine à comparer à la limite d'environ 600 mrem par semaine (30 rems ÷ 50 semaines) en supposant qu'ils sont travailleurs sous rayonnement. S'ils ne sont pas travailleurs sous rayonnement, ils recevraient 5 mrem à la peau sur un maximum permis de 60 mrem, par semaine, ceci pour les seules manipulations avec le Xenon-133.

6.2 Equivalents de dose au personnel de l'Hôpital B

Des figures 21, 22 et 23 nous constatons qu'en dehors des salles d'examen, l'irradiation du personnel est inférieure à 0,1 MPC-h dans tous les cas, donc leur exposition à la peau est aussi de beaucoup inférieure à 0,1 mrem par examen.

De ces mêmes figures 21, 22 et 23, nous tirons les valeurs présentées au tableau 4 pour l'irradiation du technicien présent dans la salle d'examen lors d'études avec le Xenon-133.

La moyenne par patient de 1,2 $\pm$ 0,2 MPC-h au technicien pour une exposition correspondante à la peau de 0,4 $\pm$ 0,1 mrem n'est pas différente du résultat obtenu à l'Hôpital A, nous y obtenions 1,5 $\pm$ 0,8 MPC-h et 0,5 $\pm$ 0,3 mrem.

La différence majeure réside dans le fait qu'à l'Hôpital B, seul le technicien effectuant l'examen au Xe-133 est exposé pour un total de 1,2 MPC-heure-personne par examen, ce qui contraste avec les 11,6 MPC-heure-personnes à l'Hôpital A.

Le patient 5 n'a pas été inclus au tableau 4 car un nombre inhabituellement élevé de personnes étaient requises dans la salle. Nos mesures ne peuvent être représentatives des concentrations au personnel qui devait être très près du patient (un bébé) et la seule place restante pour nous était située près des bouches d'entrée d'air de la pièce.

Donc à l'Hôpital B, les fuites de Xenon-133 sont au moins aussi importantes qu'à l'Hôpital A mais à cause de l'imposant système de ventilation, les irradiations au personnel du département sont très faibles.

7. Mesure de l'irradiation par dosimètres thermoluminescents

Dans la plupart des départements de médecine nucléaire la seule méthode de dosimétrie utilisée est le port du dosimètre personnel, ce service est offert par le Bureau de la radioprotection du Ministère de la Santé et du Bien-être social.

Nous avons donc voulu vérifier si les résultats des dosimètres personnels utilisant des TLD concordent avec les résultats des mesures de concentration dans l'air telles que mesurées par le Xeno-Gard.

Les radiations principales à mesurer sont un béta de 346 keV (max) à 99 %, des rayons X de 30 et 35 keV à 47 % au total ainsi qu'un gamma de 81 keV à 37 %.

Tel que décrit par Piltingsrud et Gels (4), la dose à la peau est la plus importante pour des nuages de xénon de faible dimension comme c'est le cas dans les départements de médecine nucléaire. Il est recommandé dans cette même publication d'utiliser un facteur de 0,312 mrem/h/MPC pour la dose à la peau à 70 micron. En ajoutant la contribution des X et γ de 30 et 80 keV nous obtenons un total de 0,320 et 0,324 mrem/h/MPC pour des nuages de 2 et 3 mètres respectivement. Nous utiliserons donc un facteur de 0,32 mrem/MPC/h.

Toujours d'après cette dernière publication, les doses au corps sont 44 et 30 fois plus petites que les doses à la peau pour des nuages de 2 et 3 mètres.

Des dosimètres personnels (TLD) ont été exposés en présence de l'appareil Xeno-Gard, l'irradiation en MPC-heures fut intégrée par le Xeno-Gard.

Une première série de dosimètres ne fut pas exposée au xénon (mon bureau), deux autres séries furent baladées lors des mesures avec patients dans les deux départements de médecine nucléaire, ces dosimètres furent exposés à 7 MPC h et 15 MPC h. Un troisième groupe de 12 dosimètres fut laissé

au département de médecine nucléaire de l'hôpital A jusqu'à une exposition de 102 MPC heures. Les dosimètres furent donc exposés aussi aux rayonnements autres que le xénon-133, des patients étant évalués dans ces salles avec d'autres radioisotopes, surtout le Tc-99 m , une salle spéciale est allouée à l'iode.

Les résultats des dosimètres personnels sont montrés au tableau 5.

Les dosimètres furent lus par le Bureau de la radioprotection, les résultats des TLD-100 sont en fonction de la calibration standard au Cs-137. Pour la dose à la peau, un TLD-100 de 3,2 X 3,2 X 0,38 mm recouvert de mylar aluminisé de 7 mg/cm^2 est utilisé (6).

Les réponses moyennes ainsi que l'écart type sont présentés au tableau 6 pour les quatre (4) groupes de dosimètres. Les dosimètres exposés à 7 et 15 MPC h ne font aucune différence pour des doses à la peau supplémentaires de 2 et 5 mrem, ces doses étant trop faibles. Pour le cas de l'exposition à 102 MPC h (32 mrem à la peau) nous nous attendons à ce que les dosimètres personnels puissent nous l'indiquer.

Pour les 12 dosimètres exposés à 102 MPC, la dose "vraie" à la peau a été évaluée en soustrayant à la dose à la peau de chacun des TLD minces, la dose moyenne au corps pour les 12 TLD-100 de 3,2 X 3,2 X 0,89 mm sous 2 mm d'aluminium (E.D. vraie à la peau = E.D. peau - E.D. corps). Les 12 dosimètres avaient été exposés dans les mêmes conditions.

Le tableau 5 nous indique la dose "vraie" à la peau pour chacun des dosimètres exposés à 102 MPC h ainsi que le pourcentage de cette dose "vraie" par rapport à l'irradiation de 32 mrem. La valeur moyenne est de 68 % ($\overline{On}$-1 = 65 %) de l'irradiation. De façon individuelle les dosimètres ont eu des résultats variant de 0 % à 159 % de l'irradiation "vraie".

La valeur moyenne de 68 % est passable pour une exposition si faible, cependant en pratique un travailleur ne porte qu'un dosimètre et nous devons donc regarder les résultats individuels seulement, résultats qui montrent un écart de 0 à 159 %. Donc de façon individuelle, un dosimètre ne peut indiquer cette irradiation à 32 mrem à la peau.

La dépendance en énergie sous 2 MeV est très grande pour les TLD exposés aux β , cet effet est bien montré dans un article de Jones [7] pour des TLD-100 de 0,9 et 0,25 mm d'épaisseur, certaines de ces valeurs sont montrées au tableau A.7 de la référence 6. Les valeurs pour les cristaux utilisés de 0,38 mm d'épaisseur devraient être quelque peu différentes.

De plus, dans les dosimètres les TLD sont recouverts de 2 mm d'aluminium et de 7 mg/cm^2 ce qui représente une absorption appréciable pour les béta d'énergie maximale de 346 keV du xénon-133.

Les dosimètres sont calibrés avec le Cs-137 et il est impossible de faire la correction en énergie pour le β vu que le dosimètre ne peut fournir d'information sur l'énergie incidente.

Des trois (3) compagnies offrant des dosimètres TLD vérifiées lors de l'étude de Piltingsrud et Gels [4] , une seule avait détecté une exposition mais a une valeur moyenne de seulement 3,54 %, les valeurs individuelles varient de 0 à 7.1 % pour des expositions de 258 à 1917 mrem à la peau. Donc le service de dosimétrie du Bureau de la radioprotection est de beaucoup supérieur au niveau de la moyenne de l'irradiation. Cependant, au niveau individuel les réponses sont erratiques pour tous les services.

En pratique, le Bureau de la radioprotection assignerait une dose à la peau égale à la dose au corps pour les 12 dosimètres exposés à 102 MPC heure de l'expérience; car si la valeur estimée de la dose à la peau ne dépasse pas

par plus de 100 mrem la dose au corps, sa valeur indiquée est la même que la dose au corps. Cette dose à la peau non indiquée correspondrait pour les techniciens de l'Hôpital A à environ 100 examens par période de port de trois (3) mois. (100 mR (peau) $\div \frac{32 \text{ mR}}{\text{MPC.h}} \div \frac{3,3 \text{ MPC.h}}{\text{examen}}$)

L'irradiation théorique maximale annuelle qui pourrait être négligée est donc de 400 mrem à la peau (4 périodes de port), pratique acceptable (8) pour des travailleurs sous rayonnement.

Les départements visités avaient en moyenne 10 examens par semaine avec le xénon-133, pour un total d'environ 120 examens par période de port du dosimètre. Plusieurs techniciens se partagent les examens d'un même département, donc il est très peu probable qu'un seul effectue 100 examens, il est donc aussi très peu probable que l'irradiation au xénon-133 soit incluse au dossier des travailleurs.

Pour une évaluation quantitative de l'exposition aux travailleurs sous rayonnements et autres des départements de médecine nucléaire des hôpitaux, des mesures de concentration dans l'air sont nécessaires. Cependant, il a été montré dans la présente étude que pour une charge de travail de 10 patients par semaine dans les pires conditions (aucun système de ventilation) que l'irradiation à la peau est faible et de beaucoup inférieure à la limite maximale admissible pour les techniciens travailleurs sous rayonnement ainsi que pour les autres membres du personnel qui ne sont pas des travailleurs sous rayonnement.

8. Réduction de l'irradiation au XENON-133

Les travailleurs dans les hôpitaux ne seront pas irradiés au-delà des limites maximales admissibles, cependant quelques bonnes pratiques sont à surveiller pour maintenir les doses à des niveaux aussi bas que possible (ALARA) dans deux cas, les situations normales et les situations d'urgence.

8.1 Situations normales

Les mesures effectuées dans notre étude indiquent que des pertes de xénon-133 sont toujours décelables même lors d'un examen où tout est normal et qui se déroule bien.

Les pertes majeures se situent au niveau du contact de l'embouc et de la bouche du patient, il faudrait donc s'assurer que l'embouc est utilisé selon les spécifications du manufacturier pour maximiser le contact des lèvres sur l'embouc.

Au niveau du dispensateur, le design devrait être vérifié pour s'assurer qu'en chacune des phases de l'examen, et même suite à l'examen, que toutes les composantes ventilent dans un sac ou dans la trappe au charbon activé. Le dispensateur de xénon-133 devrait être blindé par 1/16 de pouce de plomb de tous les côtés. Les capsules contenant le xénon-133 devraient être transportées aussi dans des contenants de 1/16 de pouce de plomb pour minimiser l'irradiation externe, des mesures ont été effectuées par Loken et Kush [9] avec 30 m Ci de xénon-133.

L'efficacité des trappes à xénon (charbon activé) devrait être vérifiée régulièrement à intervalle d'au plus trois (3) mois, les manufacturiers recommandent de les remplacer à chaque année. Ces trappes ne sont pas efficaces à 100 %.

Pour minimiser l'irradiation du personnel par le xénon dans l'air, une bonne ventilation vers l'extérieur est requise. Le département B nous fournit un bon exemple d'une très forte ventilation sans recirculation. Dans le cas du département A, un simple ventilateur dans la fenêtre serait suffisant pour expulser rapidement le xénon vers l'extérieur. A tout le moins pour régler le problème du xénon, ce ventilateur pourrait être mis en fonction au départ de l'examen (porte ouverte) et arrêté à la fin de celui-ci.

Une source de xénon à ne pas négliger est le patient qui a terminé son examen, le malade continue à exaler du xénon-133, et plus ses poumons sont atteints, et plus il va en exhaler longtemps, donc il faudrait les placer dans un endroit bien ventilé.

Les départements de médecine nucléaire devraient effectuer annuellement des contrôles pour bien s'assurer que l'irradiation est maintenue au niveau le plus faible possible, la seule façon efficace est de mesurer la concentration dans l'air avec un instrument approprié [10] ou des tubes sous vide tel que décrit au chapitre 3 pour lesquels un étalonnage est requis.

Le xénon-133 gazeux livré en monodose (FROSST) dans des ampoules de verre fermées par un bouchon de caoutchouc est plus sécuritaire que du xénon gazeux ou dans une solution saline dans une seringue.

Un comptage des ampoules monodoses avant et après injection nous a permis de constater que plus de 98 % du xénon est évacué lors de l'injection. L'appareil utilisé pour injecter le xenon possède deux aiguilles qui peuvent se boucher avec des particules de caoutchouc, lorsque des activités de $\pm$ 1 Ci sont transférées dans certains dispensateurs sophistiqués, on devrait s'assurer d'une bonneventilation.

Il est recommandable d'entreposer le Xenon dans un endroit bien ventilé.

Le xénon dans une seringue, gazeux ou en solution saline, présente des fuites plus importantes, tel que décrit par Bernedetto et Landry (11). Aussi un fort pourcentage de la dose peut demeurer dans la seringue suite à l'injection, donc une bonne gestion des déchets s'impose pour minimiser l'irradiation au personnel. Les centres où sont effectués les fractionnements en monodoses, souvent à partir d'une activité initiale de 1 Ci de xénon-133 gazeux, devraient posséder un moniteur d'air pour le xénon et fonctionnant de façon constante lors de ces manipulations, ces fractionnements devraient s'effectuer dans une bonne hotte dont les débits sont mesurés au moins annuellement.

8.2 Situations d'urgence

Il arrive que des patients ne puissent tolérer l'embouc durant tout l'examen, ils peuvent enlever celui-ci et exhaler dans la salle. Le pourcentage de ces cas doit varier considérablement en fonction de la situation des hôpitaux, dans un des départements visités il y avait environ 10 % de ces cas.

Si l'embouc est enlevé immédiatement après l'injection du xénon-133 dans celui-ci, la perte dans la pièce est de près de 100 %.

Au centre hospitalier A, une vitesse plus élevée devrait être demandé au ventilateur suggéré plus tôt, ou un deuxième ventilateur de fenêtre devrait être actionné, toujours avec la porte ouverte. Ce ou ces ventilateurs devraient fonctionner pendant au moins 15 minutes suivant ces incidents.

Au département de l'hôpital B, la porte de la salle de l'examen devrait être maintenue fermée dans ces cas pour au moins 15 minutes, pour s'assurer qu'il n'y a pas de redistribution dans le département.

Dans ces cas d'urgence, seul le technicien reste dans la salle avec les patients.

9. Conclusion

Des mesures de concentration dans l'air pour le xénon-133 lors d'examens pulmonaires chez les patients ont démontré que des fuites appréciables se produisent. Cependant, il est très peu probable que le personnel des hôpitaux reçoive des doses à la peau supérieures aux doses maximales admissibles, travailleurs sous rayonnement ou non, malgré des conditions très diverses de ventilation.

Les irradiations pourraient être de beaucoup inférieures si les procédures avec patients étaient régulièrement revues, des mesures de concentration dans l'air étaient périodiquement effectuées et l'équipement de distribution entretenu et vérifié.

Les résultats des dosimètres personnels sont non fiables aux niveaux d'irradiation par le xénon-133 rencontrés dans les départements de médecine nucléaire. Lorsque des mesures de concentration dans l'air sont requises, des appareils intégrant en continu sont disponibles et recommandés, de plus une méthode développée pour cette étude utilisant des tubes à vide pour le prélèvement du sang a été trouvée efficace pour cette fonction.

Bibliographie

1. Susskind,H., Atkins,H.L., Cohn,S.H., Ellis,K.J., Richards,P. 1977. Whole Body Retention of Radioxenon. J.Nucl. Med. 18:462-471.

2. MIRD (Medical Internal Radiation Dose Committee,Society of Nuclear Medecine) Dose Estimate Report No.9. 1980. Publié par: Atkins,H.L., et autres, J. Nucl. Med. 21:459-465.

3. LeBlanc,A.D., Johnson,P.C. 1971. The Handling of Xenon-133 in Clinical Studies. Phys. Med. Biol., 16: 105-109.

4. Piltingsrud,H.V., Gels,G.L. 1982. Evaluation of ^{133}Xe Radiation Exposure Dosimetry for Workers in Nuclear Medecine Laboratories. Health Physics, 42: 837-848.

5. ICRP Publication 30. Commission Internationale de Protection Radiologique. Partie 2. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers,p.47.

6. The thermoluminescent dosimetry service of the radiation protection bureau.1978.Santé et Bien-être social Canada, 79-EHD-27.

7. Jones,A.P.A Personnal Dosimeter System Based on Lithium Fluoride Thermoluminescent Dosimeters (TLD). Proceedings of the Third Conference on Luminescence Dosimetry,Riso, Denmark, 1971. pp. 831-850.

8. ICRP Publication 12. 1969. General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers, par. 101.

9. Loken,M.K., Rush, G.S. 1969. Handling,Uses, and Radiation Dosimetry of Xenon-133. Proceedings of Medical Radionuclides: Radiation Dose and Effects. U.S.AEC Symposium Series 20, Conf. 691212.

10. Piltingsrud,H.V., Gels,G.L. 1984. A study of the performance of selected instrumentation for ^{133}Xe personnel hazard measurements in nuclear medicine laboratories. Health Physics, 46: 627-637.

11. Benedetto,A.R., Landry,A.J. 1984. Radiation Hazards Associated with Syringes Used to Store and Dispense ^{133}Xe. Health Physics, 46: 1141-1143.

Tableau 1.

Concentrations dans l'air, patients de l'Hôpital A.

ENDROIT DU PRELEVEMENT	PATIENT : 1	2	3	4	5
1- Niveau avant injection	-	1,8	-	1,5	-
2- Injection (30 cm, face au patient)	-	2,1	-	2,6	1,7
3- Equilibre (10 cm, face au patient)	-	1,0	3,6	3,4	1,2
4- " (1 m, face au patient)	-	1,4	-	2,9	-
5- " (1 m, droite du patient)	2,6	2,1	23,4	1,6	-
6- " (1 m, gauche du patient)	17,1	1,0	3,2	2,6	1,1
7- " (2 m, face au patient)	-	-	-	3,0	-
8- " (2 m, côté du patient)	5,1	1,0	1,0	3,3	-
9- " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté)	2,3	1,1	2,0	2,5	-
10- " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté) ou					
" (1 m, face à autre poste de travail)	-	2,0	-	2,7	-
11- Lavage (10 cm, face au patient)	48,6	1,5	51,0	4,9	3,4
12- " (1 m, face au patient)	8,9	1,2	9,8	2,5	-
13- " (1 m, droite du patient)	7,1	1,7	22,3	2,4	1,2
14- " (1 m, gauche du patient)	8,5	4,5	9,6	1,5	5,3
15- " (sortie : dispensateur Xe-133)	X	118,1	360,1	73,2	605,8
16- " (2 m, face au patient)	X	1,8	10,9	4,4	-
17- " (2 m, côté du patient)	X	1,8	18,4	3,4	-
18- " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté)	X	1,8	22,2	6,9	-
19- " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté) ou					
" (1 m, face à autre poste de travail)	X	1,7	9,6	2,1	-
20- Patient débranché (30 cm, face au patient)	9,1	226,6	14,8	68,4	22,4
21- " " , + 2 minutes (1 m, face au patient)	6,8	2,9	6,6	8,7	1,4
22- " " , " (1 m, droite du patient)	8,1	1,1	12,0	13,1	1,8
23- " " , " (1 m, gauche du patient)	11,1	2,8	8,2	6,1	-
24- " " , " (2 m, face au patient)	7,0	3,6	6,1	6,6	1,7
25- " " , " (2 m, côté du patient)	6,2	3,0	8,7	0,6	1,0
26- " " , " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté)	6,6	2,3	11,2	9,5	-
27- " " , " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté) ou					
" " , " (1 m, face à autre poste de travail)	6,6	1,0	10,9	6,2	-

Où, - indique < 1 MPC, et X que la mesure n'a pu être effectuée.

Tableau 2.

Concentrations dans l'air, patients de l'Hôpital B.

ENDROIT DU PRELEVEMENT	PATIENT : 1	2	3	4	5
1- Niveau avant injection	-	-	-	-	-
2- Injection (30 cm, face au patient)	-	-	-	37,2	-
3- Equilibre (10 cm, face au patient)	-	-	-	280	-
4- " (1 m, face au patient)	2,4	-	-	7,1	-
5- " (1 m, droite du patient)	1,8	3,6	-	15,5	-
6- " (1 m, gauche du patient)	7,5	17,4	1,9	7,6	16
7- " (2 m, face au patient)	4,2	14,1	8,0	8,7	1,4
8- " (2 m, côté du patient)	4,2	22,7	2,4	-	-
9- " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté)	3,9	X	6,3	X	-
10- " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté) ou " (1 m, face à autre poste de travail)	X	X	X	X	-
11- Lavage (10 cm, face au patient)	7,1	29,5	6,6	22,6	9,8
12- " (1 m, face au patient)	3,7	17,8	6,6	11,2	X
13- " (1 m, droite du patient)	4,9	13,3	5,4	13,4	X
14- " (1 m, gauche du patient)	5,0	14,0	5,0	18,1	X
15- " (sortie : dispensateur Xe-133)	3,7	13,8	5,3	13,4	X
16- " (2 m, face au patient)	3,9	11,6	4,7	11,8	X
17- " (2 m, côté du patient)	2,2	X	4,7	X	X
18- " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté)	4,0	X	4,4	X	X
19- " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté) ou " (1 m, face à autre poste de travail)	X	X	4,0	X	X
20- Patient débranché (30 cm, face au patient)	3,8	5,7	2,2	72,0	7,3
21- " " , + 2 minutes (1 m, face au patient)	2,4	5,5	1,6	13,1	5,3
22- " " , " (1 m, droite du patient)	2,1	5,7	1,6	4,7	2,2
23- " " , " (1 m, gauche du patient)	2,3	4,7	5,3	5,7	2,8
24- " " , " (2 m, face au patient)	1,5	4,2	2,1	6,1	3,0
25- " " , " (2 m, côté du patient)	2,6	4,0	1,8	4,8	2,2
26- " " , " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté)	2,1	3,4	1,2	4,4	1,5
27- " " , " (1 m, en avant du patient et 2 m à côté) ou " " , " (1 m, face à autre poste de travail)	1,2	3,5	1,0	4,5	4,0

Où, - indique < 1 MPC, et X que la mesure n'a pu être effectuée.

TABLEAU 3 Irradiation du personnel, Hôpital A.

Endroit	Nombre de personnes exposées	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Moyenne/patient
		MPC.h / mrem à la peau					MPC.h (σ_{n-1}) / mrem à la peau (σ_{n-1})
Postes 4 &5	2 (A)*	1,2 / 0,4	1,2 / 0,4	2,3 / 0,8	2,3 / 0,8	0,4 / 0,1	1,5 (0,8) / 0,5 (0,3)
Poste 6	1 (A)	0,4 / 0,1	0,4 / 0,1	1,1 / 0,4	1,1 / 0,4	0,2 / 0,1	0,6 (0,4) / 0,2 (0,2)
Bureaux 1,1;1,2 1,3;1,5 1,6 et Chambre noire	6 (A) 2 (B)*	0,4 / 0,1	0,4 / 0,1	1,2 / 0,4	1,2 / 0,4	0,2 / 0,1	0,7 (0,5) / 0,2 (0,2)
Entrée Réception Postes 1,2 et7	5 (A) 3 (B)	0,4 / 0,1	0,4 / 0,1	0,4 / 0,1	0,4 / 0,1	0 / 0	0,3 (0,2) / 0,1 (0,04)

* (A) = Techniciens et Médecins, travailleurs sous rayonnements.
(B) = Personnel de soutien , membres du public.

Tableau 4.

Irradiation du personnel, Hôpital B.

Endroit	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Moyenne/patient
	$\frac{\text{MPC.h}}{\text{mrem à la peau}}$				$\frac{\text{MPC.h } (\sigma_{n-1})}{\text{mrem à la peau } (\sigma_{n-1})}$
Salle 40	$\frac{1,2}{0,4}$				
Salle 16		$\frac{1,3}{0,4}$			
Salle 40			$\frac{0,9}{0,3}$		
Salle 16				$\frac{1,4}{0,5}$	
					$\frac{1,2\ (0,2)}{0,4\ (0,1)}$

Tableau 5

RESULTATS DES DOSIMETRES PERSONNELS (TLD-100)

Exposition au xénon		Dose au corps	Dose à la peau	Dose "vraie" à la peau	% de la dose à la peau
(MPC-h)	mSv	(mSv)	(mSv)	(mSv)	
0	0	0,40	0,48		
0	0	0,50	0,61		
0	0	0,54	0,86		
0	0	0,38	0,45		
0	0	0,62	0,52		
0	0	0,46	0,48		
102	0,32	0,70	1,17	0,49	153
102	0,32	0,83	1,12	0,44	138
102	0,32	0,72	1,14	0,46	144
102	0,32	0,71	1,03	0,35	109
102	0,32	0,63	0,81	0,13	41
102	0,32	0,57	0,76	0,08	25
102	0,32	0,60	0,72	0,04	13
102	0,32	0,94	0,75	0,07	22
102	0,32	0,59	0,86	0,18	56
102	0,32	0,58	0,98	0,30	94
102	0,32	0,71	1,19	0,51	159
102	0,32	0,52	0,62	0	0
7	0,02	0,35	0,54		
7	0,02	0,30	0,32		
7	0,02	0,38	0,35		
7	0,02	0,41	0,32		
7	0,02	0,36	0,40		
7	0,02	0,38	0,27		
15	0,05	0,38	0,29		
15	0,05	0,34	0,38		
15	0,05	0,37	0,24		
15	0,05	0,38	0,29		
15	0,05	0,35	0,33		
15	0,05	0,41	0,71		

Tableau 6

VALEURS MOYENNES DES DOSIMETRES PERSONNELS

Nombre de dosimètres	Exposition		Réponse des TLD-100	
	MPC.h	mrem	Dose moyenne au corps mrem (σ_{n-1})	Dose moyenne à la peau mrem (σ_{n-1})
6	0	0	48 (9)	57 (15)
6	7	2	36 (4)	37 (10)
6	15	5	37 (2)	37 (17)
12	102	32	68 (12)	93 (20)

Figure 1.

EFFICACITE DU COMPTEUR POUR TUBES DE 7 cc. (cpm/MPC)

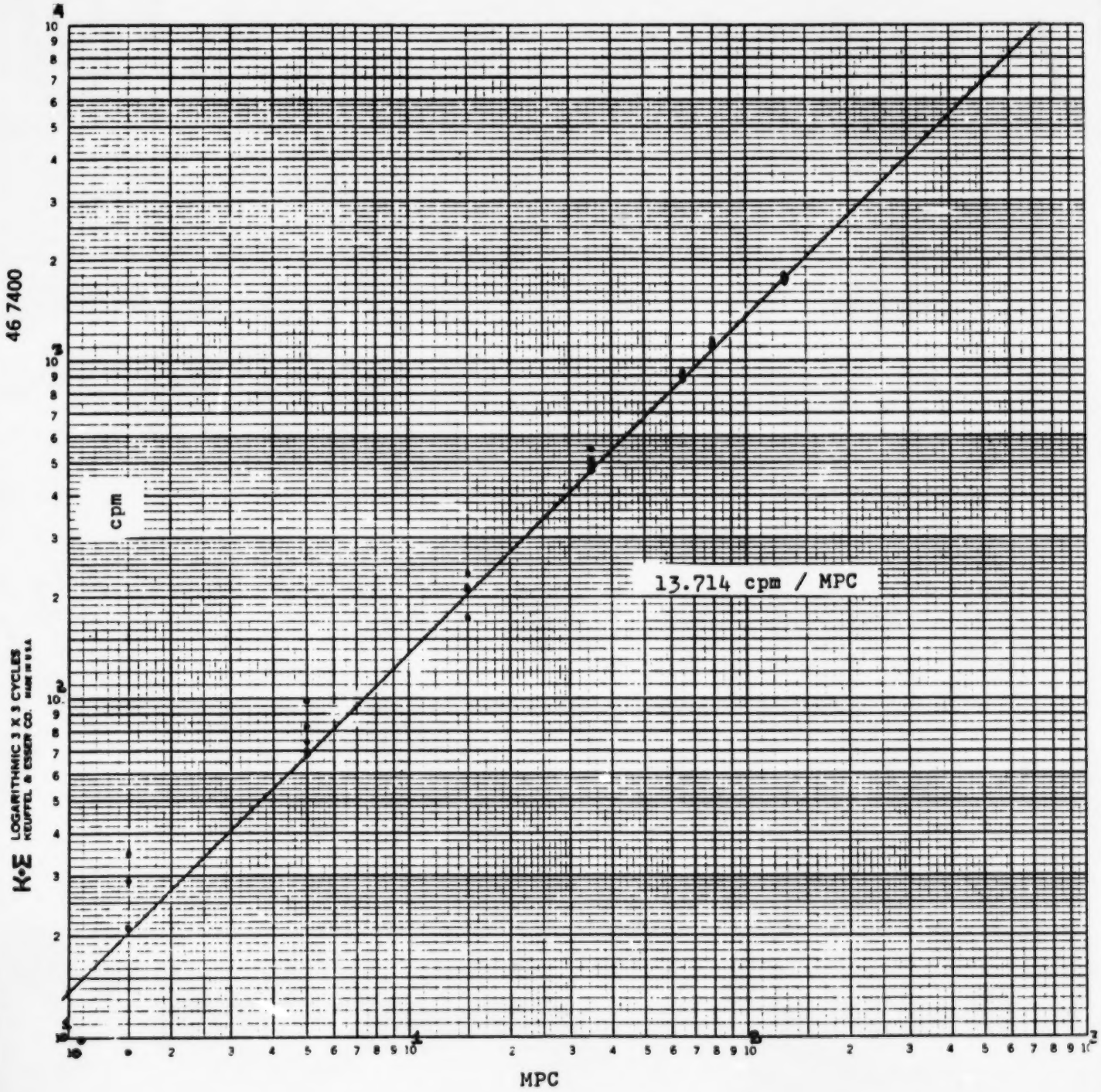


Figure 2.

EFFICACITE DU COMPTEUR POUR TUBES DE 15 cc. (cpm/MPC)

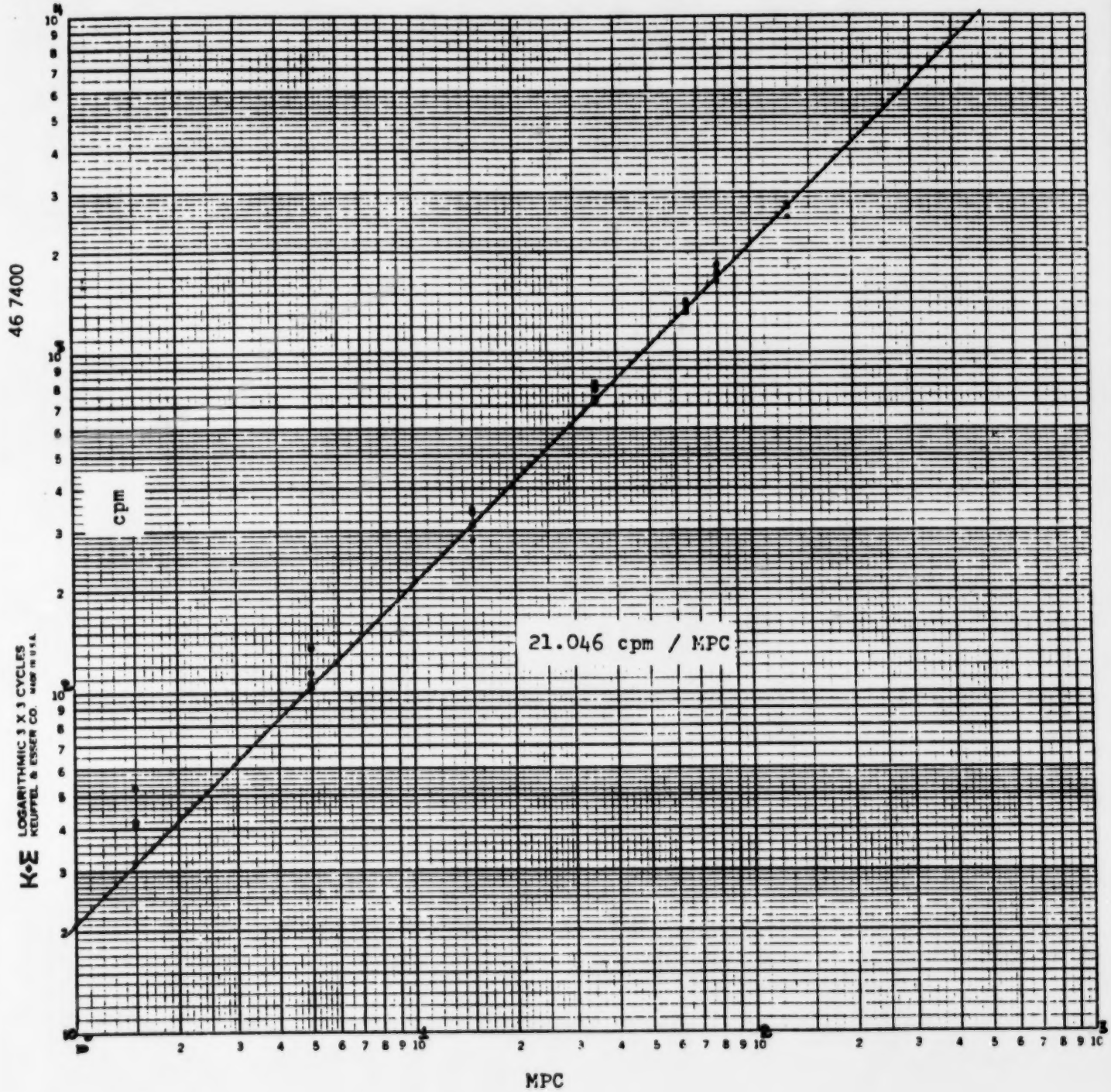


Figure 3. Vérification de l'étanchéité des tubes à prélèvement.

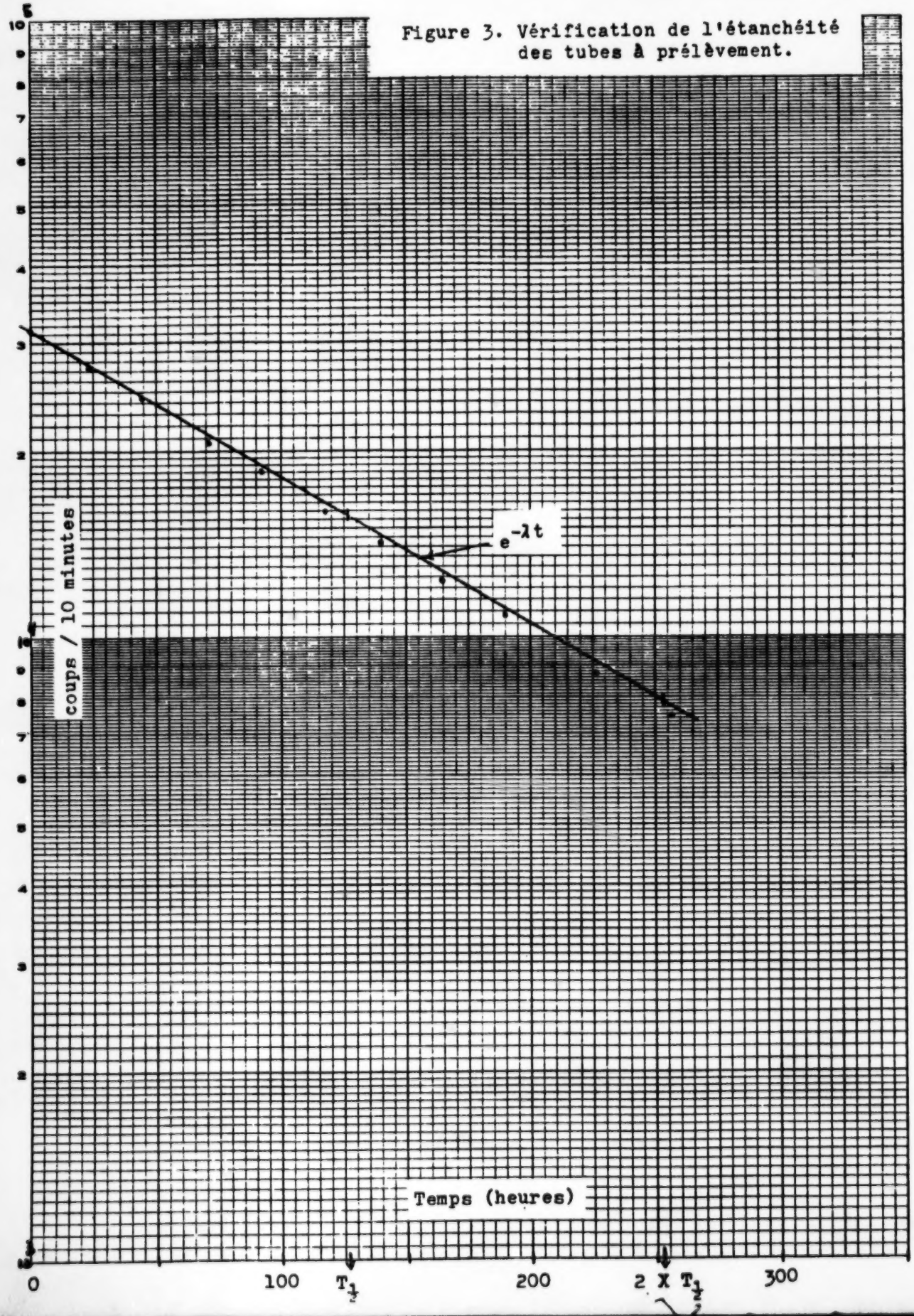
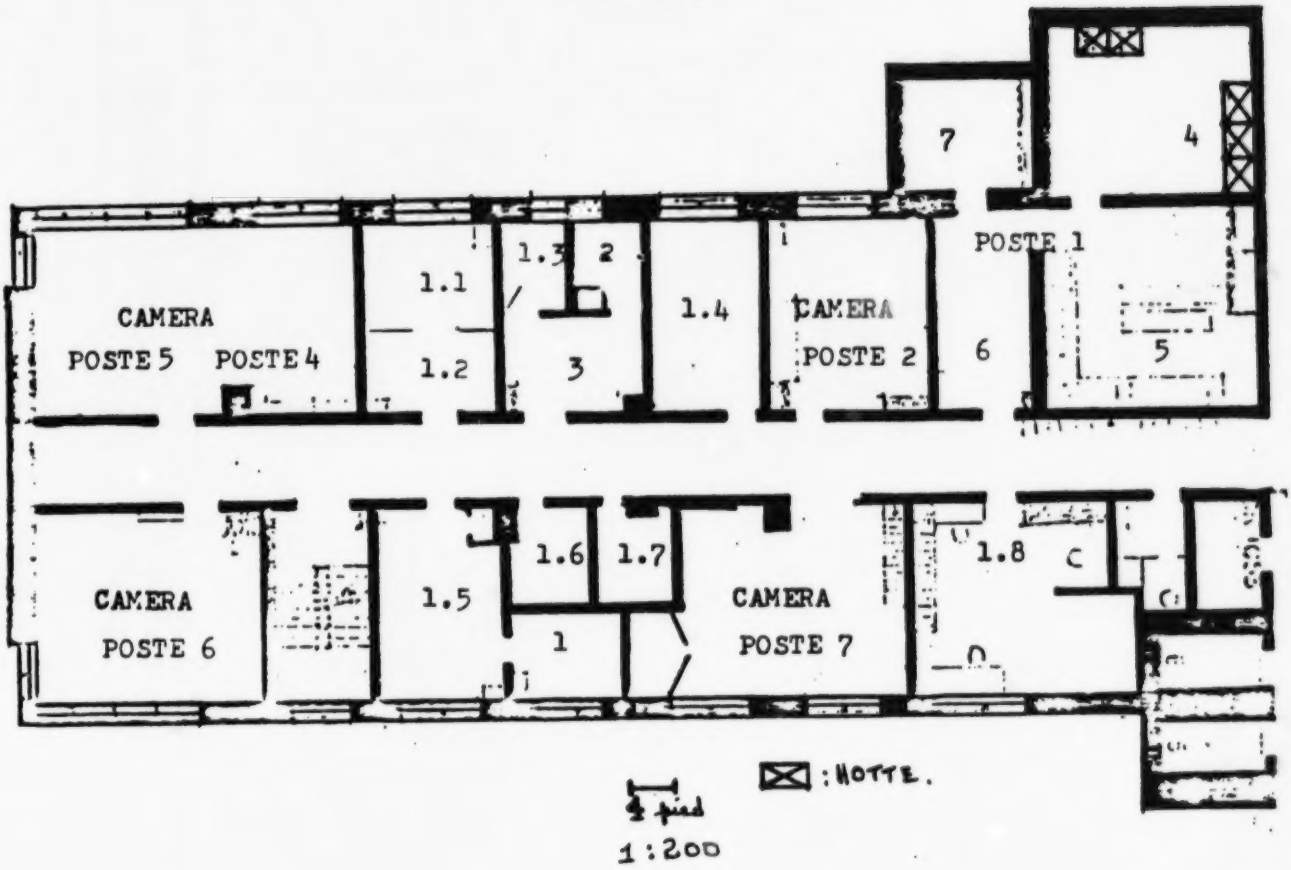


Figure 4.

DEPARTEMENT DE MEDECINE NUCLEAIRE

HOPITAL A



1.1 Bureau directeur
1.2 Bureau
1.3 Bureau chef technicien
1.4 Bureau medecin
1.5 Bureau residents
1.6 Bureau physicien
1.7 Bureau
1.8 Bureau de la réception

2 Chambre noire
3 Salle repos des techniciens
4 Labo. chaud
5 Labo. moyen
6 Injection
7 Comptage gamma

Figure 5. Salle d'examen Hôpital A.

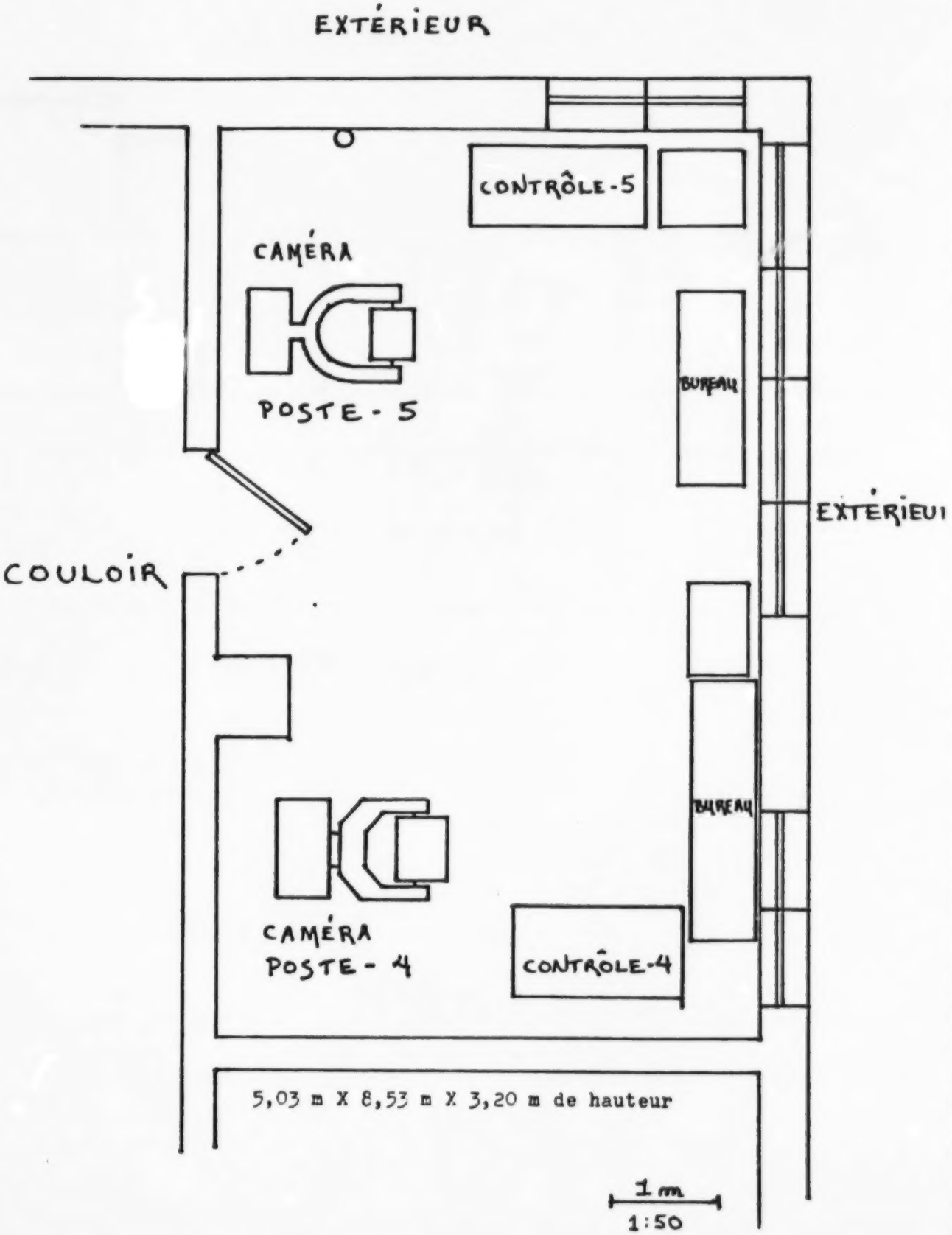


FIGURE 6.

Dispensateur de Xe-133, Hôpital A.

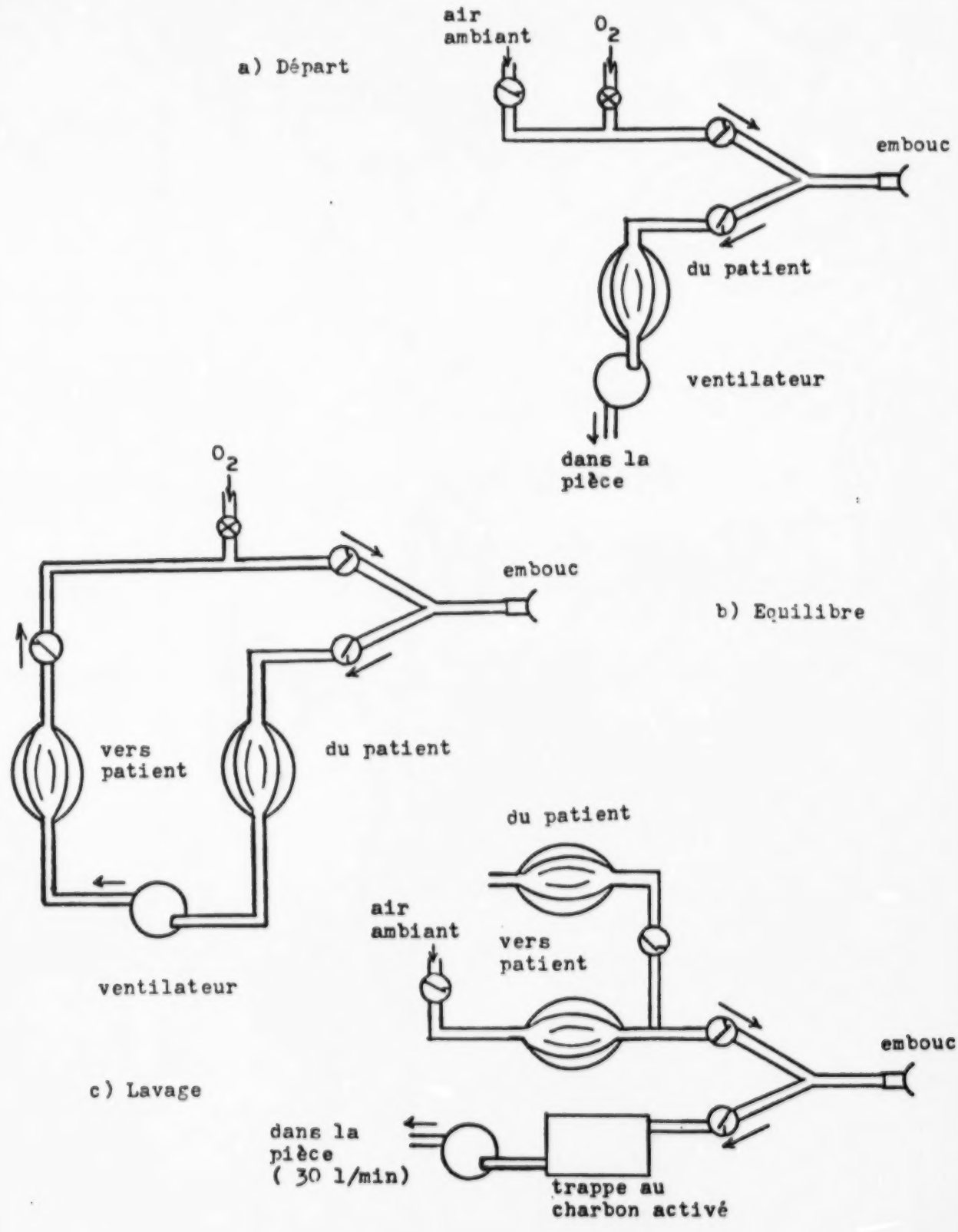


Figure 7 . HOPITAL B.
Département de médecine nucléaire.

Figure 8. Salle d'examen (#16) Hôpital B.

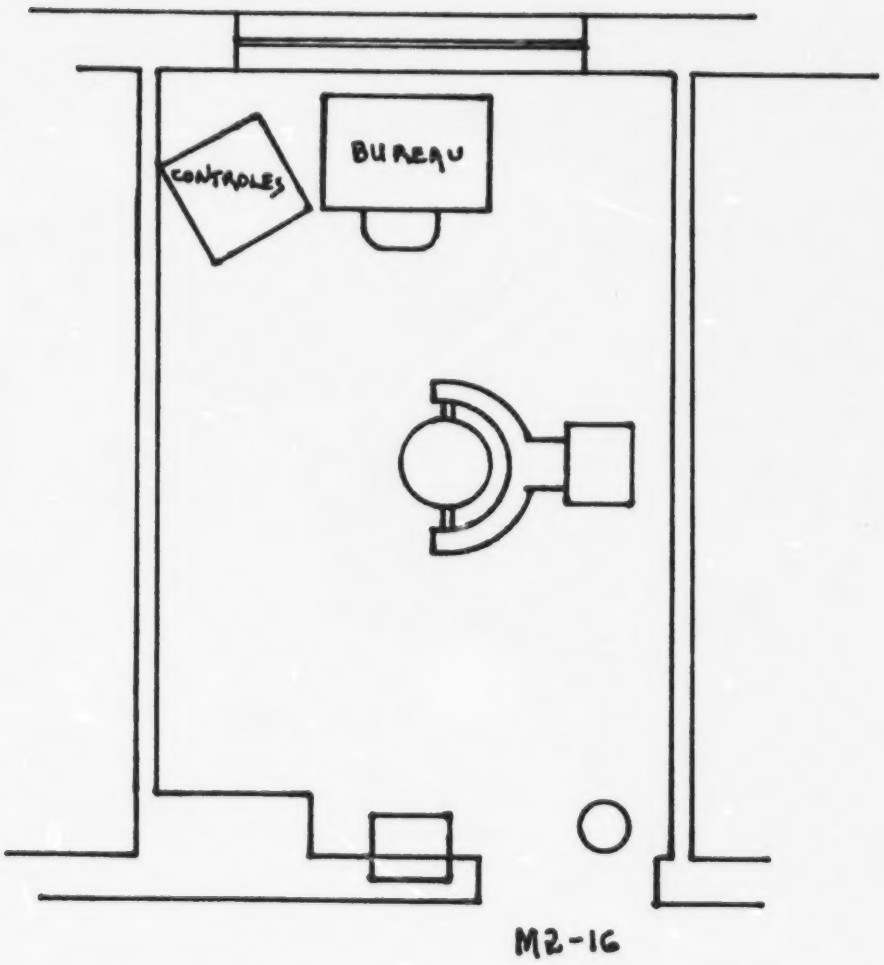


Figure 9 . Salle d'examen (#40) Hôpital B.

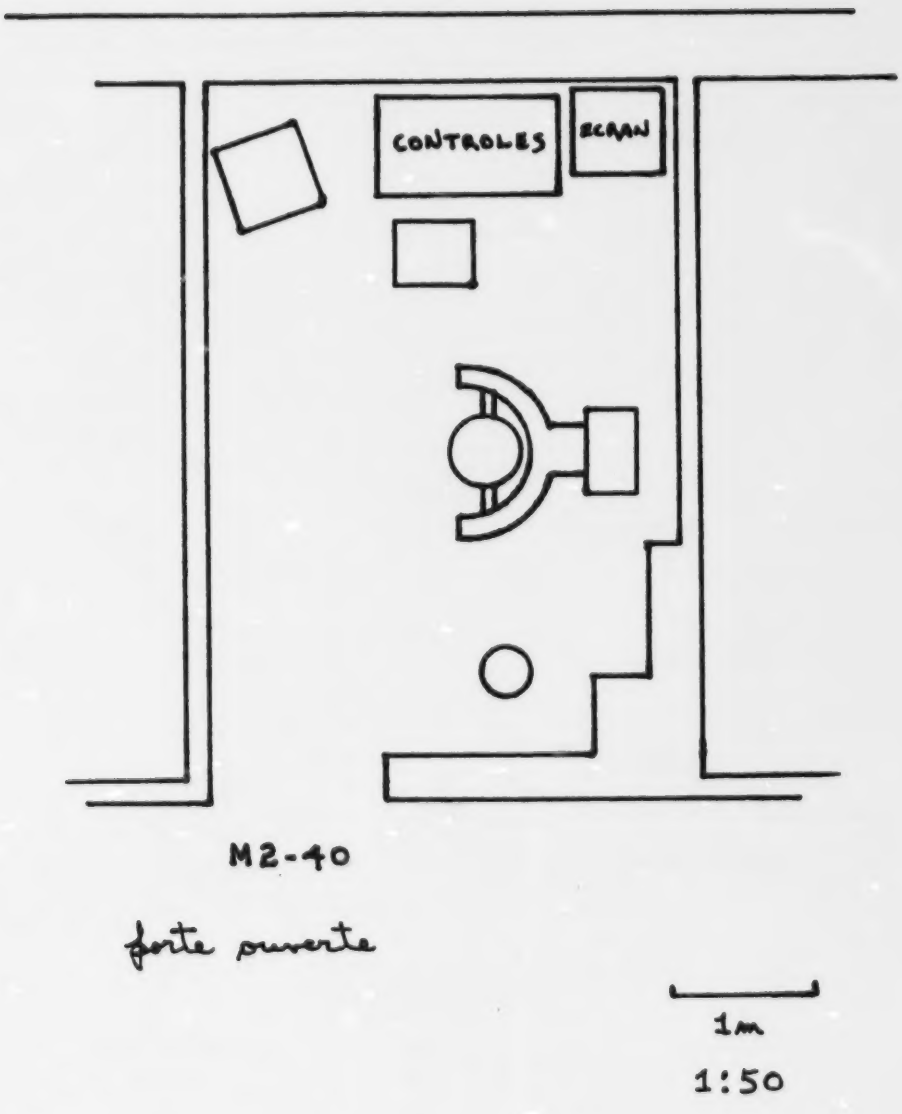


Figure 10.
Salle d'examen (#46) Hôpital B.

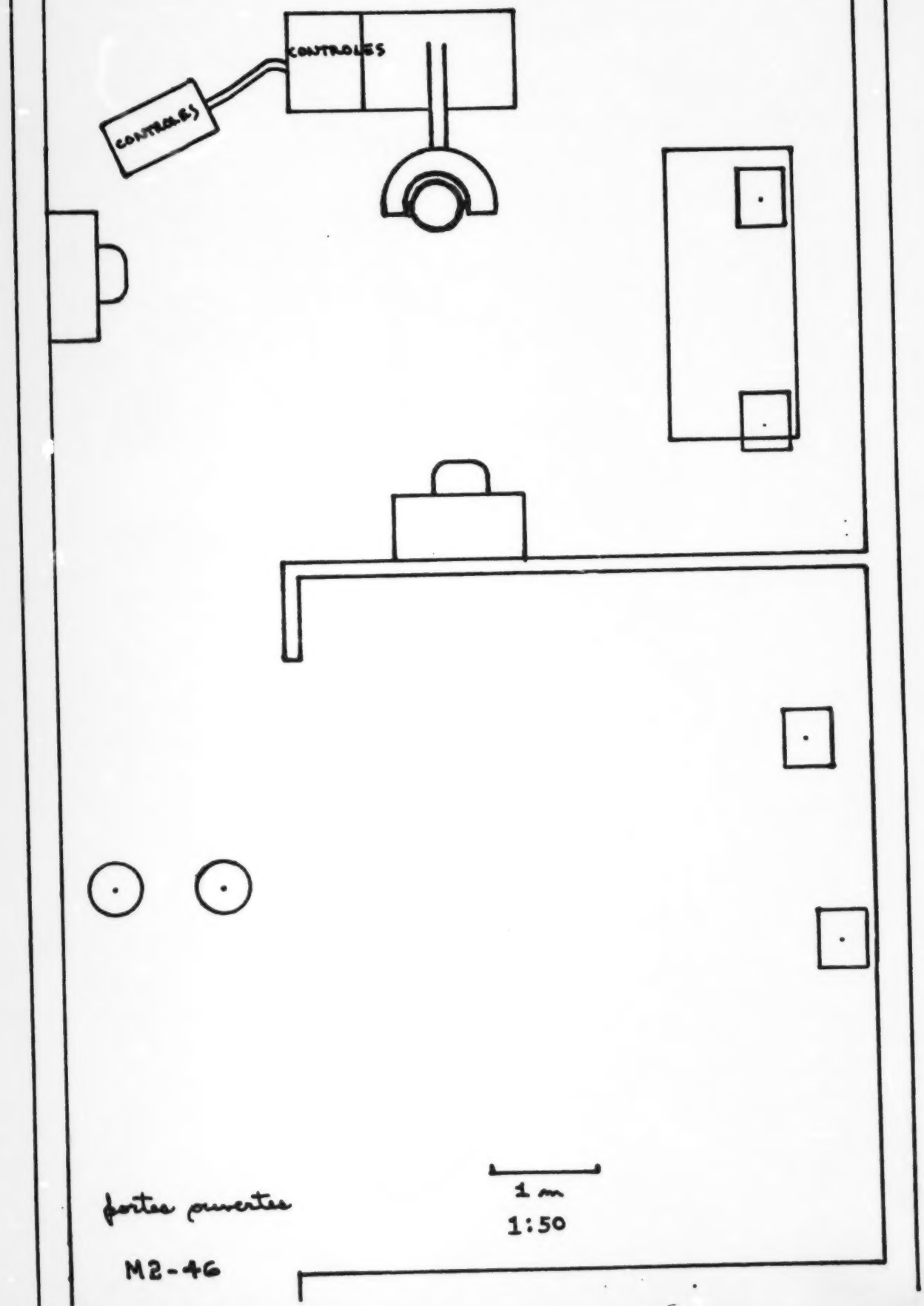


Figure 11.
Dispensateur de Xe-133, Hôpital B.

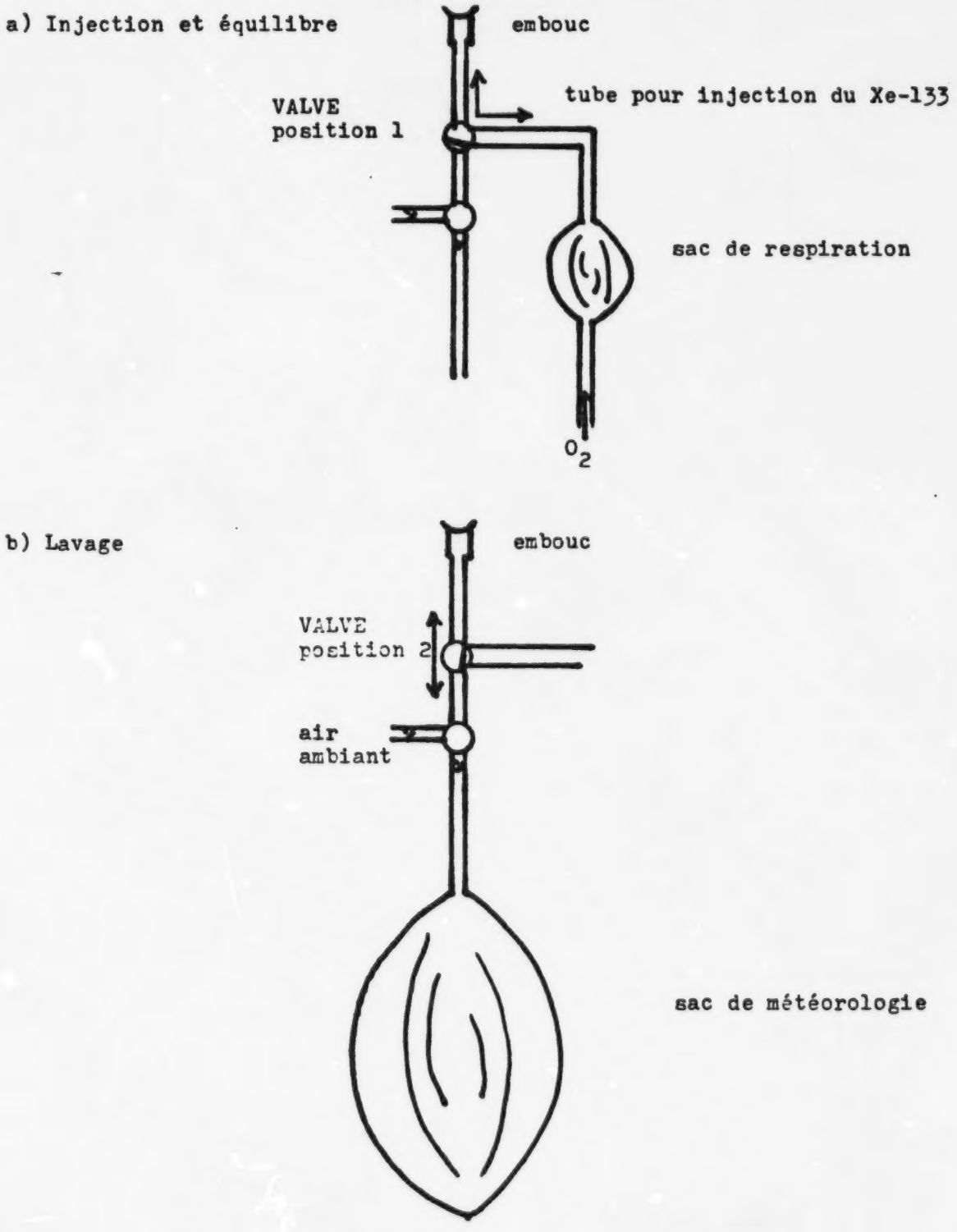


Figure 12.
Hôpital A. Endroits des prélèvements, POSTE 4.

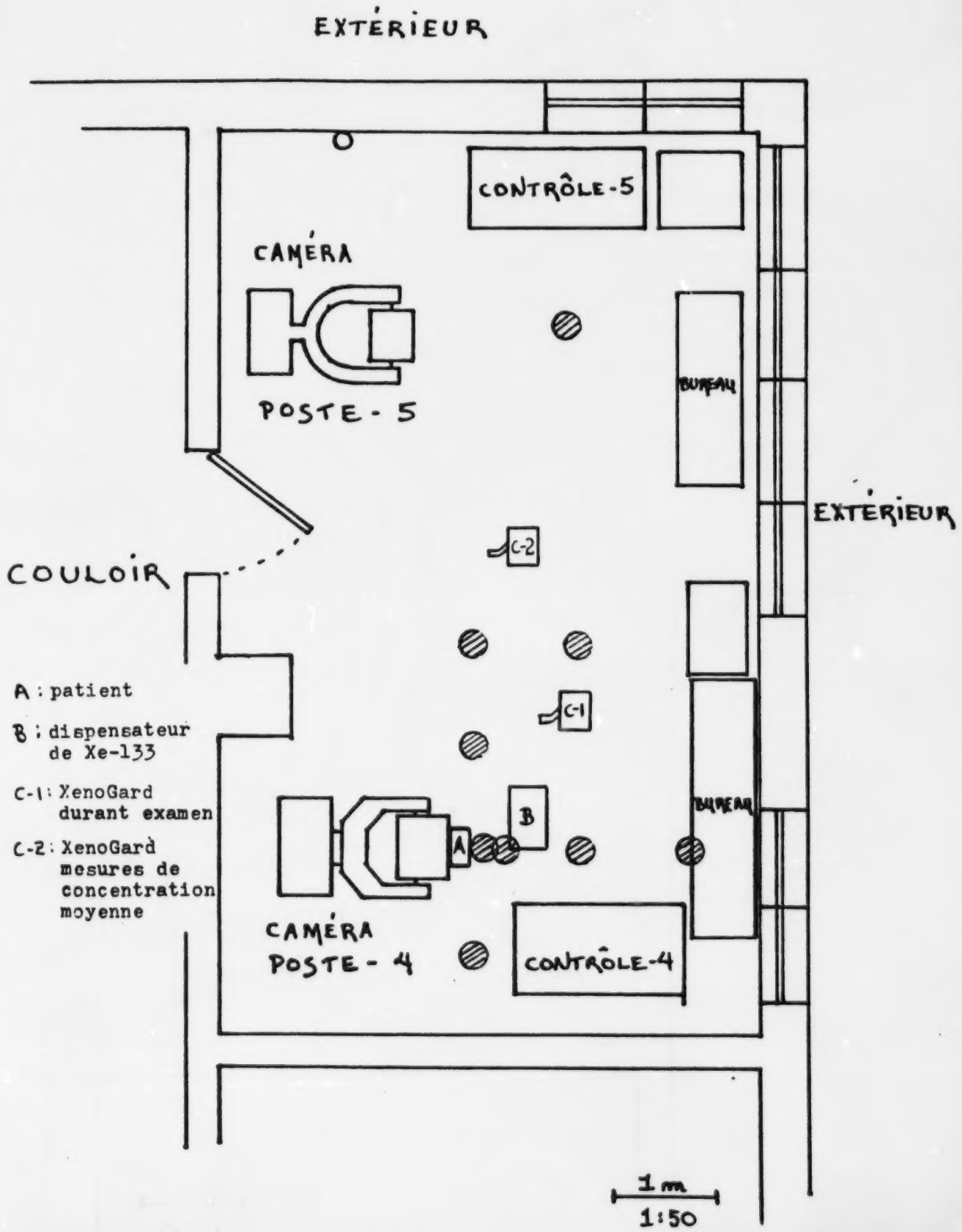


Figure 13.

Hôpital A. Endroits des prélèvements, POSTE 5.

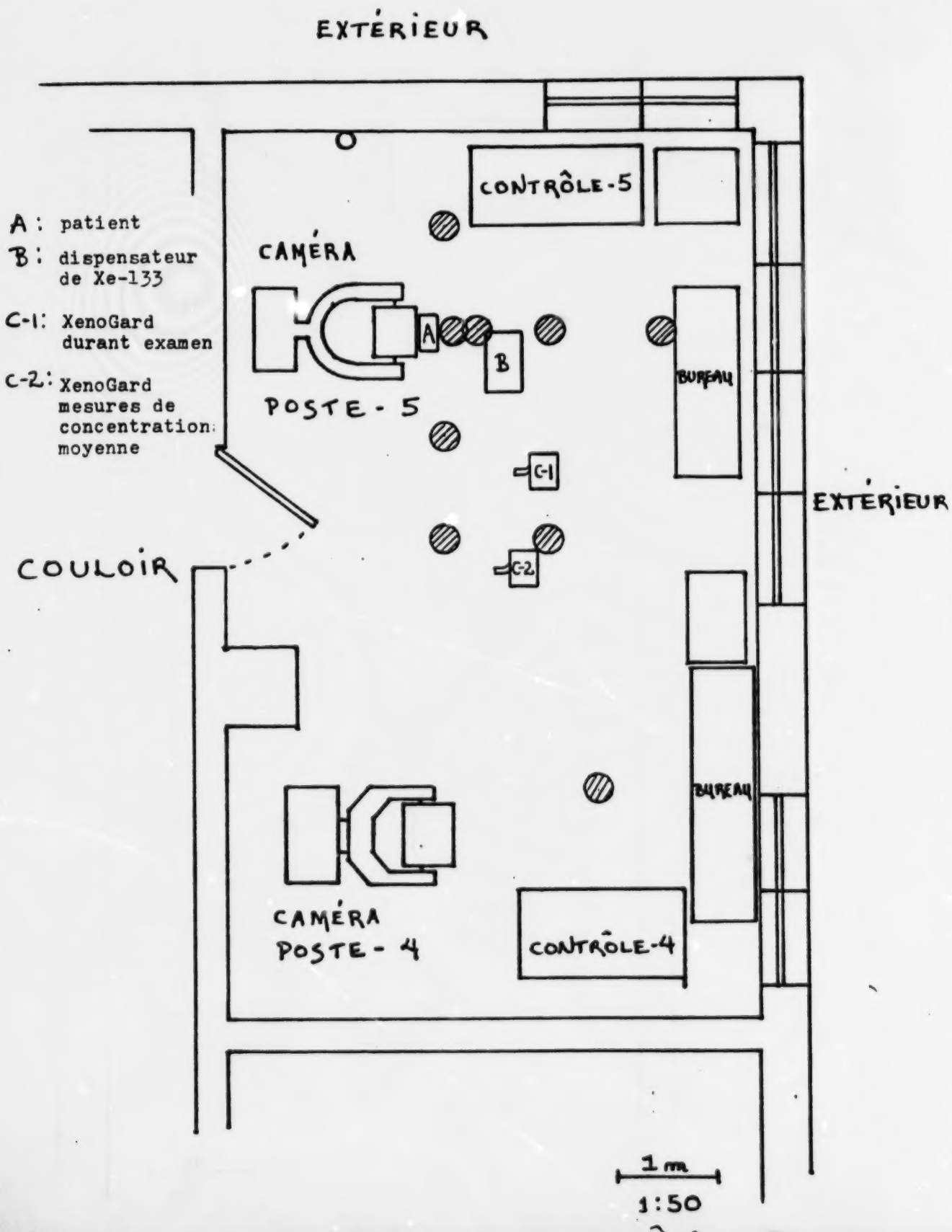
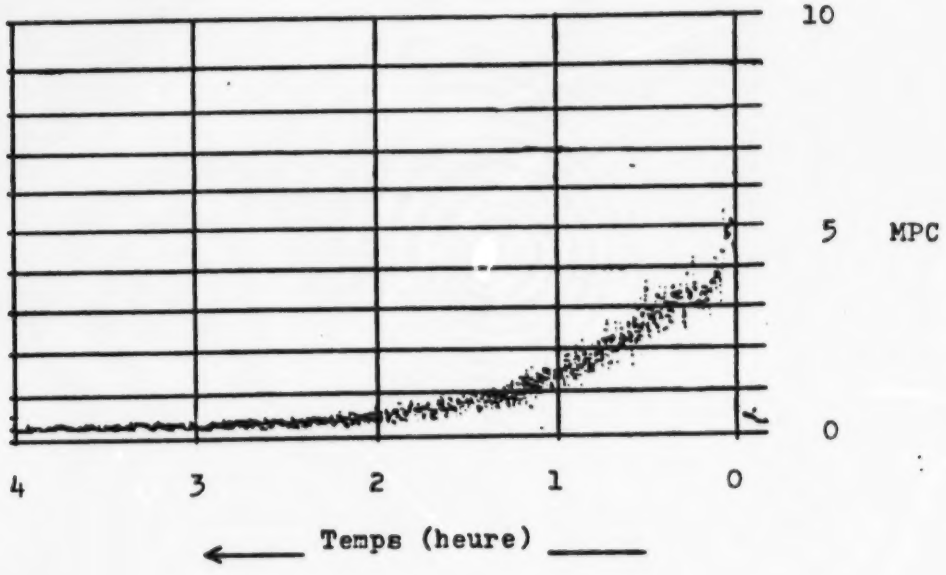


Figure 14.

Variation de la concentration de Xe-133 dans l'air en fonction du temps. Hôpital A, Postes 4 et 5.

a) Suite à une (1) ventilation pulmonaire.



b) Suite à trois (3) ventilations pulmonaires consécutives.

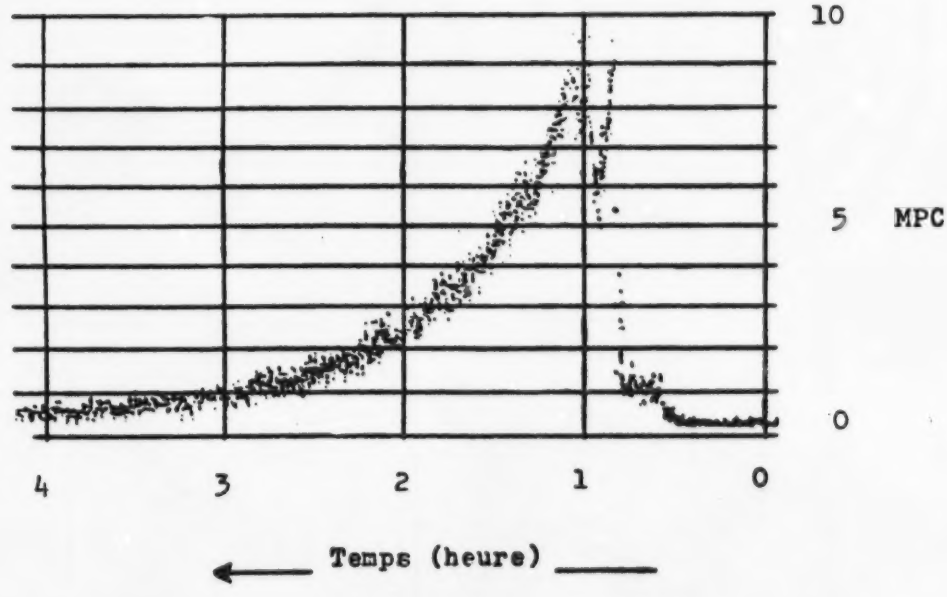


FIGURE 15

Concentration du Xe-133 en fonction du temps, Hôpital A, patients 1 et 2.

FIGURE 16

Concentration du Xe-133 en fonction du temps, Hôpital A, patients 3 et 4.

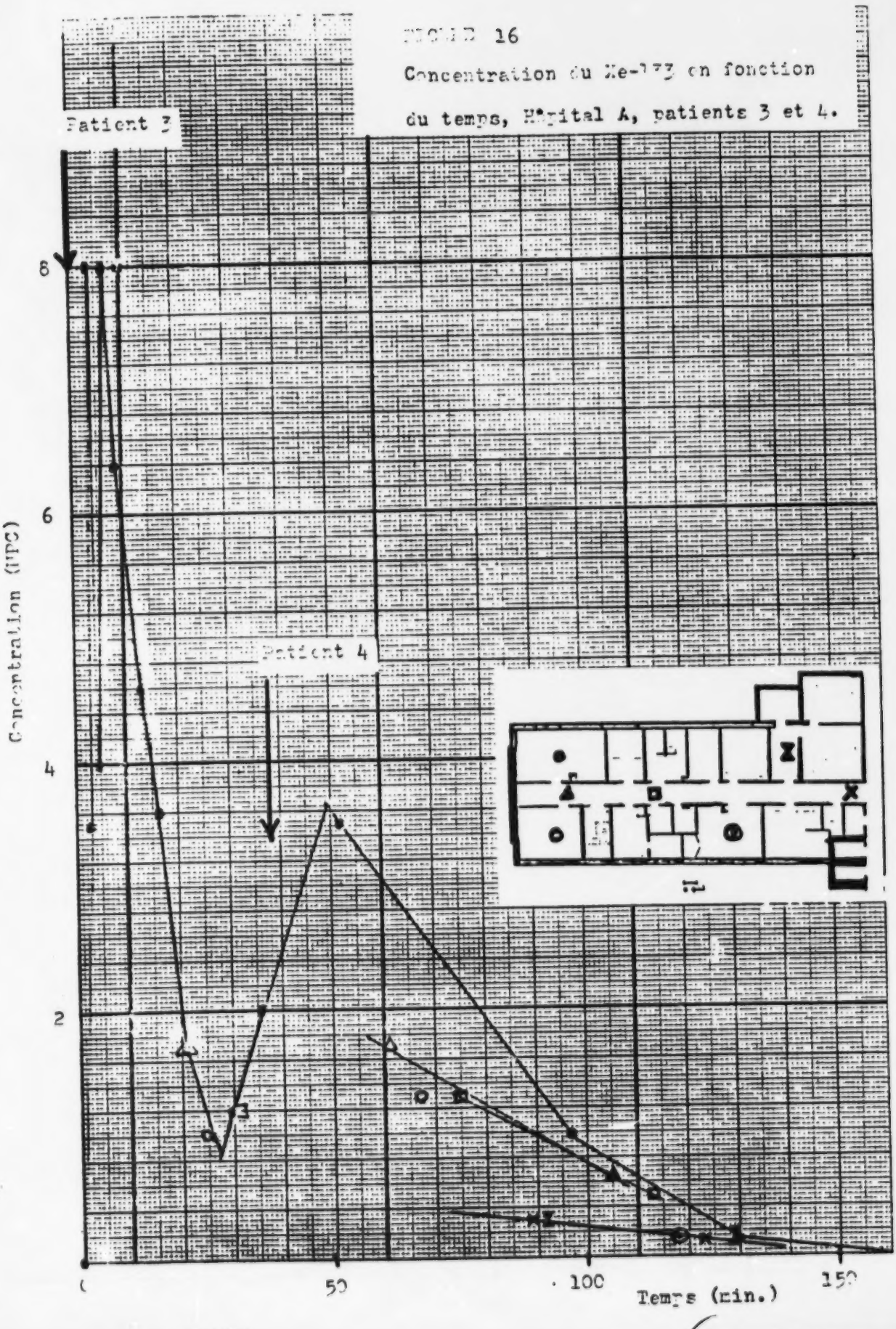


Figure 17

Concentration du Xe-133 en fonction du temps, Hôpital A, patient 5.

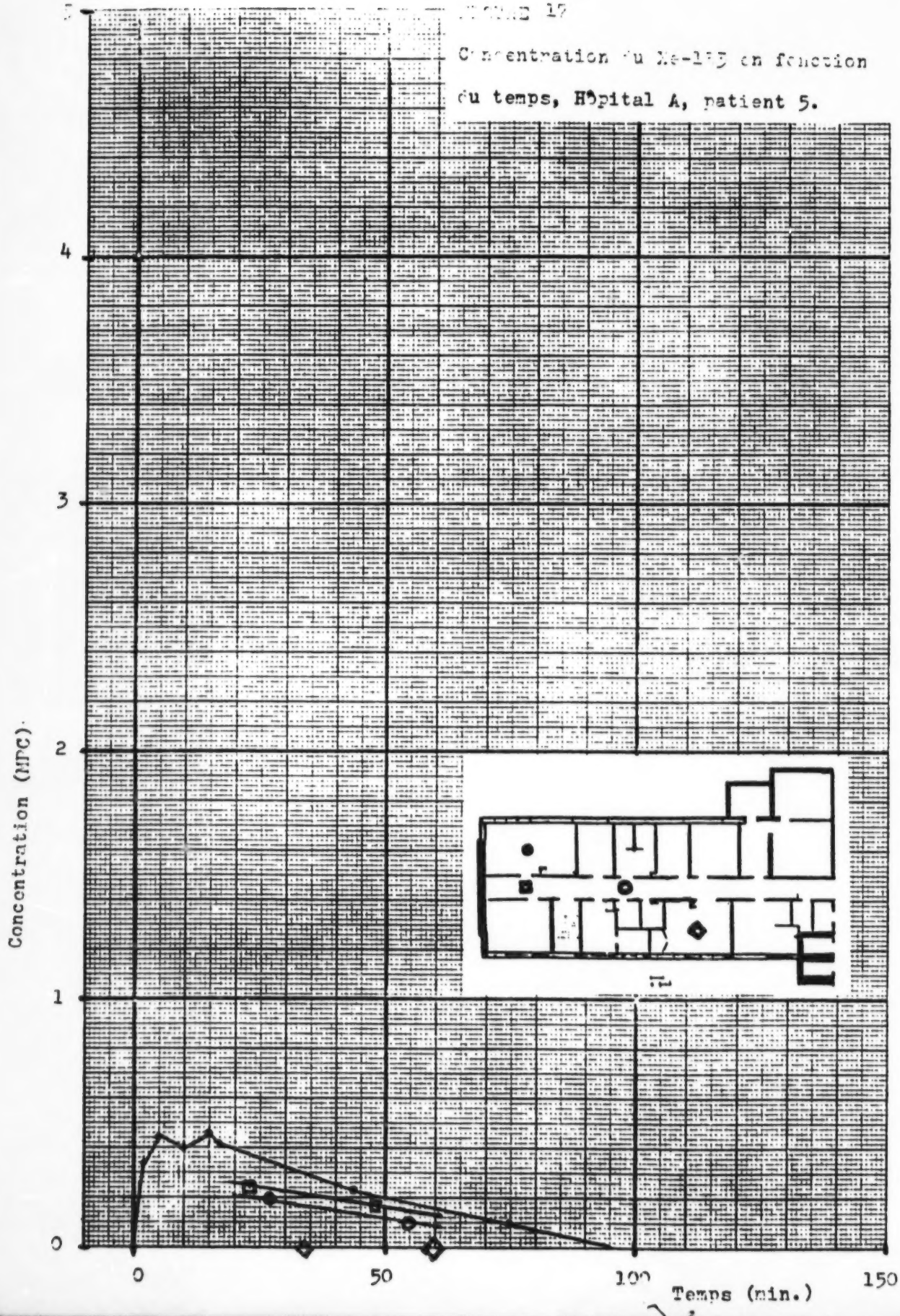


Figure 18.

Hôpital B. Endroits des prélèvements, Salle 16.

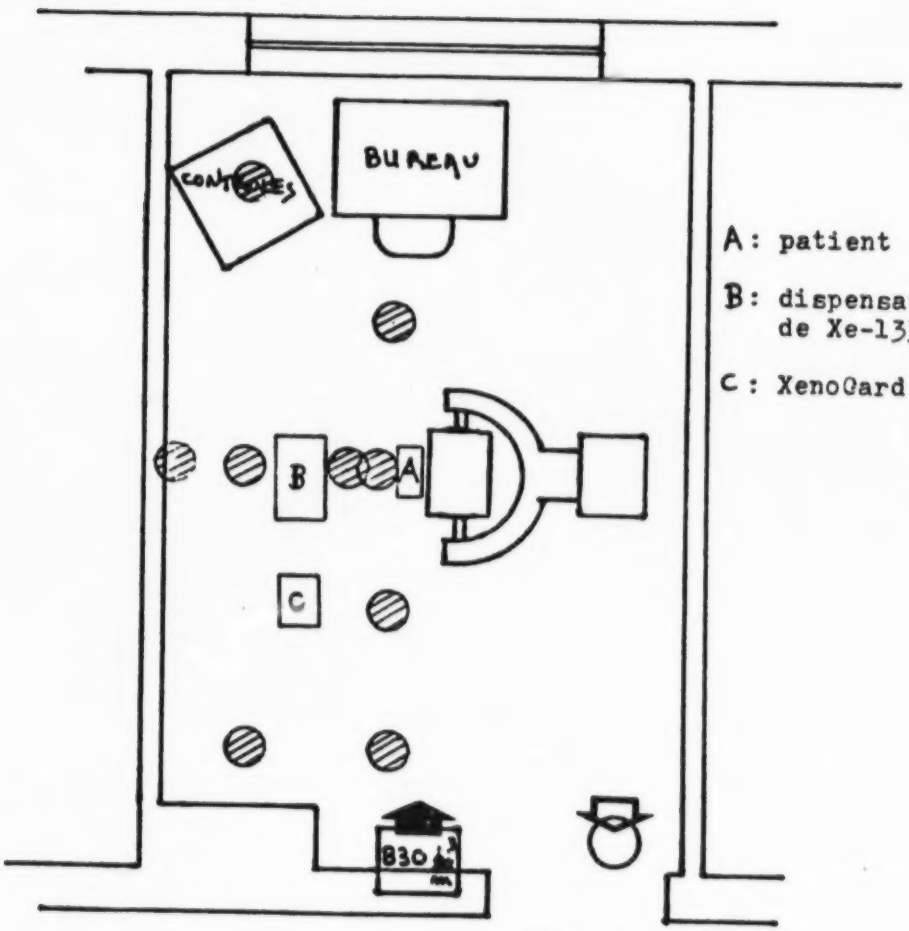
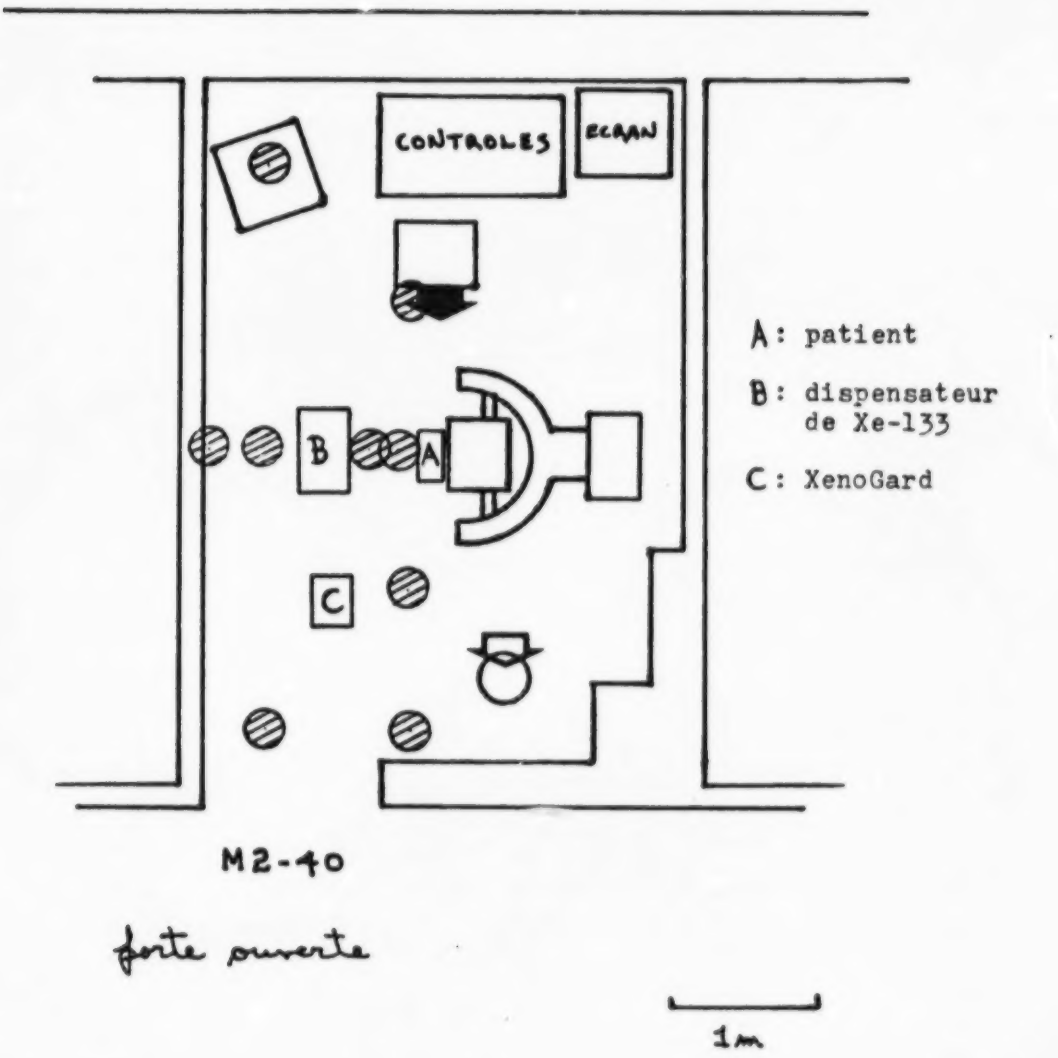


Figure 19.
Hôpital B. Endroits des prélèvements, Salle 40.



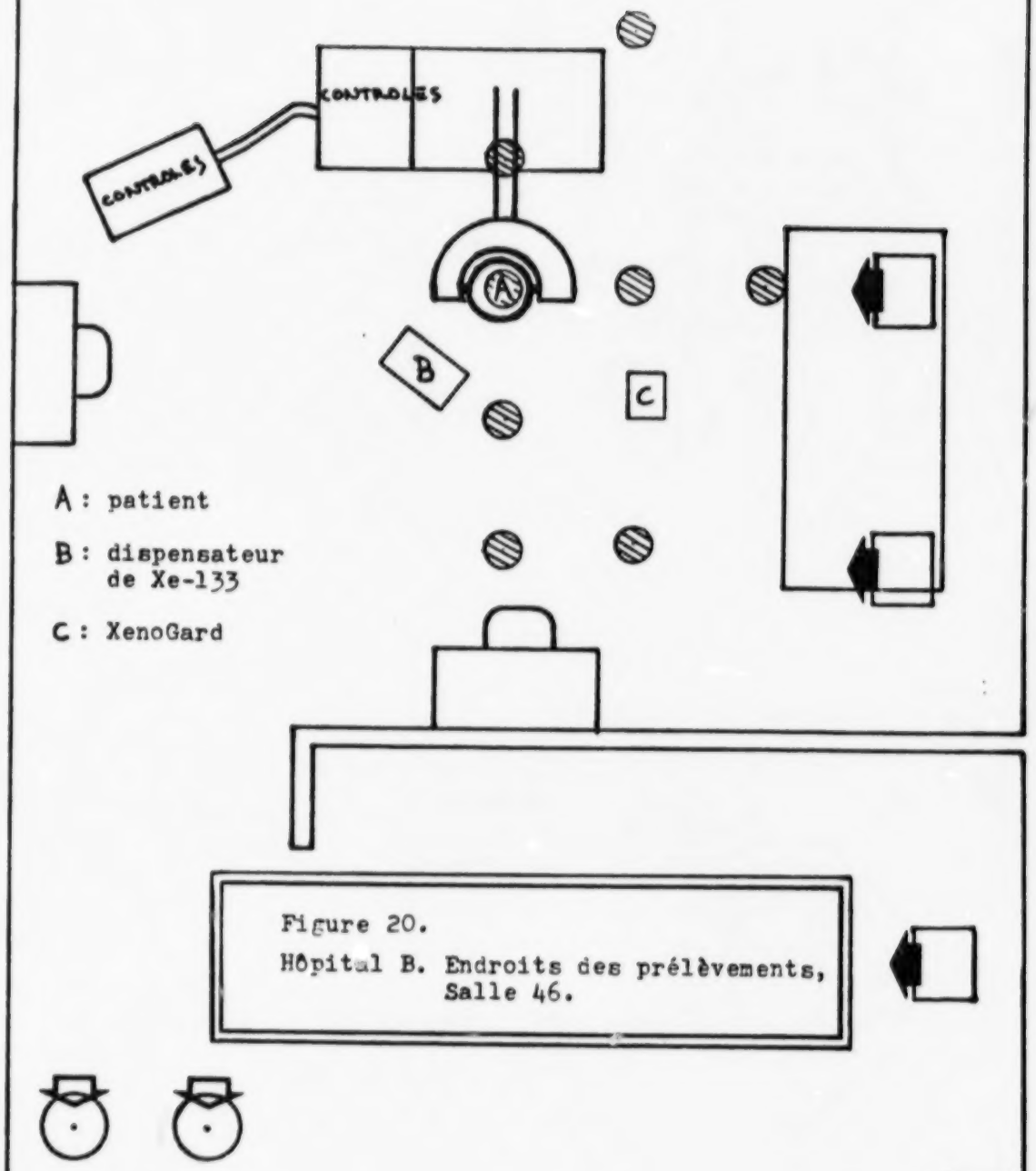


Figure 20.

Hôpital B. Endroits des prélèvements, Salle 46.

portes ouvertes

1 m

M2-46

FIGURE 21.
Concentration du Xe-133 en fonction du temps, Hôpital B, patient 1.

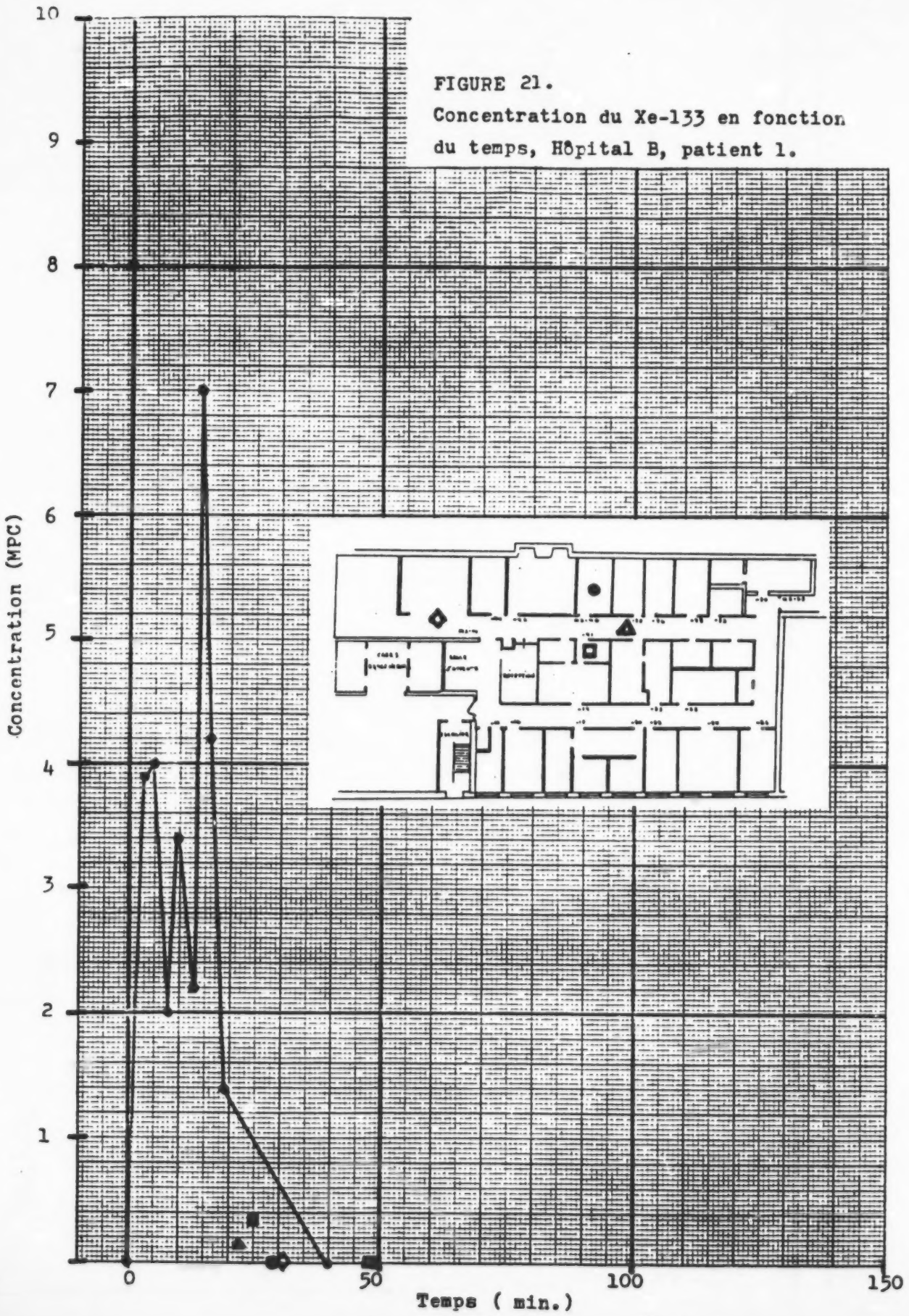


FIGURE 22.
Concentration du Xe-133 en fonction du temps, Hôpital B, patients 2 &3.

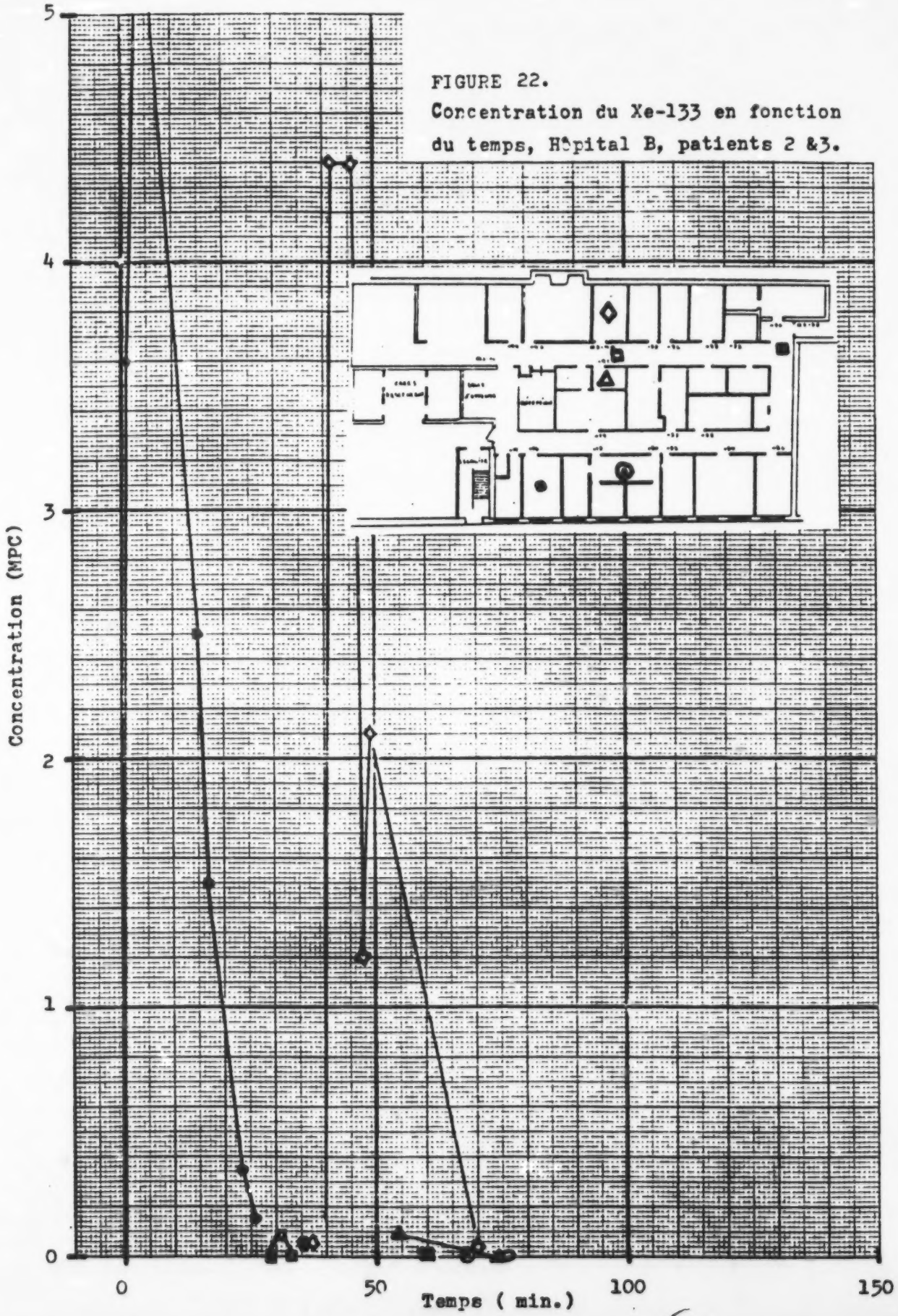
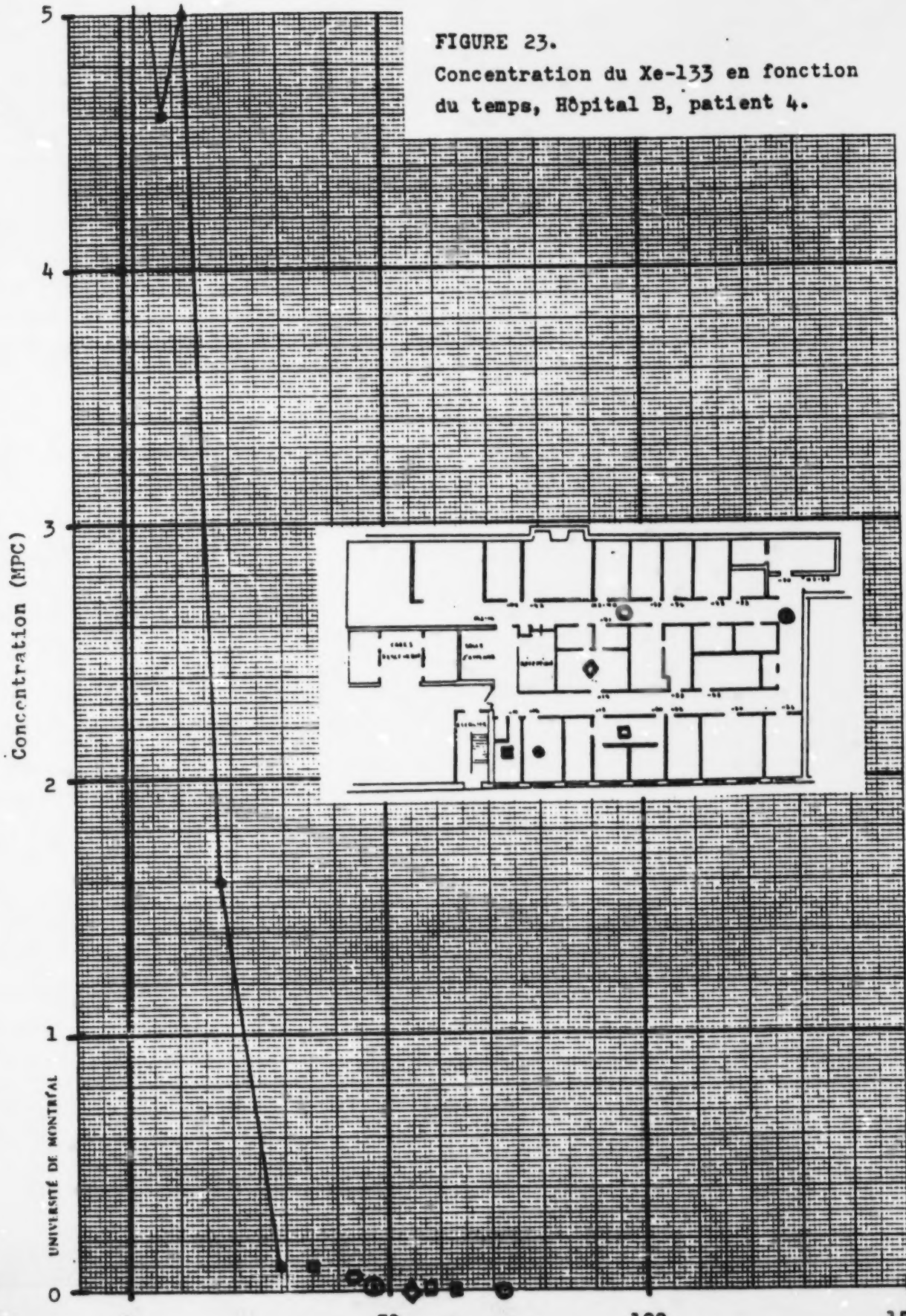


FIGURE 23.
Concentration du Xe-133 en fonction du temps, Hôpital B, patient 4.



UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL